# Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und ihre Auswirkungen auf die Zoozönose - Dargestellt an der Lenne (Sauerland)

Dissertation zur Erlangung eines Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) an der Abteilung für Biologie der Ruhruniversität Bochum

Vorgelegt von

Jörg Michael Frey (Lüdenscheid)

1976

# Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und ihre Auswirkungen auf die Zoozönose - Dargestellt an der Lenne (Sauerland)

Dissertation zur Erlangung eines Grades des Doktors der Naturwissenschaften (Dr. rer. nat.) an der Abteilung für Biologie der Ruhruniversität Bochum

Vorgelegt von

Jörg Michael **F e y** (Lüdenscheid)

Tag der mündlichen Doktorprüfung: 10.12. 1976
Prüfungsvorsitz: Dekan Prof. Dr. M.H. Z e n k
Referent: Prof. Dr. H. M e r g n e r
Korreferent: Prof. Dr. C.J. S o e d e r
3. Prüfer: Priv.-Doz. Dr. W. W a c k e r n a g e l

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Die Aufheizung eines Mittelgebirgsflusses und ihre Auswirkungen auf die Zoozönose - Dargestellt an der Lenne (Sauerland)

-

Übersicht


| | | Seite |
|---|---|---|
| 1. | Einführung in das Problem | 3 |
| 1.1 | Abwärme und Gewässer | 3 |
| 1.2 | Zielsetzung | 6 |
| 1.3 | Danksagungen | 7 |
| 2. | Felduntersuchungen am Kraftwerk Elverlingsen | 8 |
| 2.1 | Die Untersuchungsregion | 8 |
| 2.2 | Der Untersuchungsabschnitt am Kraftwerk Elverlingsen | 11 |
| 2.3 | Methoden | 19 |
| 2.3.1 | Methoden zur Erfassung der meteorologischen, chemischen und physikalischen Parameter | 19 |
| 2.3.2 | Methoden zur Erfassung der biologischen Daten | 22 |
| 2.4 | Ergebnisse | 26 |
| 2.4.1 | Meteorologische Daten | 26 |
| 2.4.1.1 | Niederschlag | 26 |
| 2.4.1.2 | Lufttemperatur | 26 |
| 2.4.1.3 | Globalstrahlung | 29 |
| | Zusammenfassung von Kapitel 2.4.1 | 30 |
| 2.4.2 | Abiotische Faktoren der Lenne | 31 |
| 2.4.2.1 | Wasserführung | 31 |
| 2.4.2.2 | Wassertemperatur | 31 |
| 2.4.2.3 | Strömungsgeschwindigkeit | 39 |
| 2.4.2.4 | Chemische Parameter | 40 |
| | Zusammenfassung von Kapitel 2.4.2 | 41 |
| 2.4.3 | Biotische Faktoren | 42 |
| 2.4.3.1 | Allgemeine Beschreibung der Flora und Fauna der Lenne im Untersuchungsabschnitt | 42 |
| 2.4.3.2 | Saprobität | 49 |
| 2.4.3.3. | Artenfehlbetrag und Artenidentität | 51 |
| 2.4.3.4 | Abundanz und Dominanz | 53 |
| 2.4.3.5 | Diversität | 58 |
| 2.4.3.6 | Benthosdrift bei Temperaturschocks | 60 |
| 2.4.3.7 | Untersuchungen zur Larvalentwicklung und Biomasse von Hydropsyche pellucidula CURT. | 74 |
| 2.4.3.8 | Flugzeiten der Trichopteren im Untersuchungsabschnitt | 83 |
| | Zusammenfassung von Kapitel 2.4.3 | 100 |

| | | |
|---|---|---|
| 3. | Laborversuche mit Larven von Hydropsyche, Epeorus und Dinocras | 101 |
| 3.1 | Methoden | 101 |
| 3.2 | Ergebnisse | 107 |
| 3.2.1 | Letaltemperaturen in Abhängigkeit der Adaptationstemperatur | 107 |
| 3.2.2 | Mortalität und Emergenz bei Langzeit-Temperaturschockversuchen | 112 |
| 3.2.3 | Mobilität von Hydropsyche bei unterschiedlichen Temperaturen | 117 |
| 3.2.4 | Allgemeines Netzbauverhalten von Hydropsyche sowie Netzbauverhalten in Abhängigkeit der Wassertemperatur | 119 |
| 3.2.5 | Toxizität von Blei bei unterschiedlichen Wassertemperaturen | 138 |
| | Zusammenfassung von Kapitel 3.2 | 140 |
| 4. | Diskussion | 141 |
| 5. | Zusammenfassung | 145 |
| 6. | Literaturverzeichnis | 147 |
| 7. | Anhang: Tabellen | 155 |

## 1. Einführung in das Problem

### 1.1 Abwärme und Gewässer

Seit ungefähr 50 Jahren werden die Kondensatoren der Kraftwerke mit Frischwasser gekühlt. Bei der Durchlauf-Kühlung wird das erwärmte Kühlwasser in das Gewässer zurückgeführt. Der Problematik dieser thermischen Belastung unserer Gewässer wurde man sich jedoch erst Mitte der fünfziger Jahre bewußt.
Erste Felduntersuchungen wurden in den USA (MARKOWSKI 1959) gemacht, während dagegen die Gewässeraufheizungen ungefähr 10 Jahre später aufgrund des steigenden Energiebedarfs und der nur in begrenztem Umfang zur Verfügung stehenden Frischwassermenge sowie der weitgehend unbekannten ökologischen Auswirkungen zu einem weltweiten Problem wurden.
Seit den sechziger Jahren ist die Zahl der Veröffentlichungen zum Thema "Abwärme und Gewässer" sprunghaft angestiegen (KOPPE 1974). Allein für die Jahre 1972 bis 1974 wurden von COUNTANT und PFUDERER (1974) und COUNTANT und TALMAGE (1975) 1115 Arbeiten angegeben, die sich mit der oben genannten Fragestellung beschäftigen.
Neben KRENKEL und PARKER (1969) gibt DETERS (1972) einen guten Überblick über die "thermale Verunreinigung der Gewässer".
In großem Maße werden heute Forschungsarbeiten im Water Resources Research Center in Blacksburg, Virginia (CAIRNS und Mitarbeiter), am Wabamun See in Alberta, Kanada (GALLUP und HICKMANN) sowie im europäischen Raum vor allem in den Central Elektricity Research Laboratories in Ratcliff on Soar, England (ASTON und LANGFORD) und in Holland in den Labors der KEMA am Ijssel See (HADDERINGH und KOOPS) durchgeführt.
Dagegen liegen in Deutschland und dem übrigen Mitteleuropa meines Wissens bislang keine experimentellen Freilanduntersuchungen über die Auswirkungen von Flußaufheizung auf die Biozönose vor. Lediglich FRIEDRICH (1973) weist in seiner Arbeit bei der durch Braunkohle-Tagebauabwässern thermisch anomalen Erft auf die sich daraus ergebenden ökologischen Bedingungen hin (u.a. Vorkommen einer tropisch-subtropischen Rotalge). Im Senkenbergmuseum, Frankfurt/Main, werden momentan Untersuchungen am Kraftwerk Staudinger/Main zur Ciliaten- und Rotiferenbesiedlung durchgeführt (TOBIAS 1974; mündliche Mitteilung 1976).
Neben den möglichen chemischen und biochemischen Veränderungen durch die Aufheizung (Henry'sches Gesetz, RGT-Regel; Übersicht

bei DETERS 1972) liegen heute zahlreiche Einzelbefunde vor (jedoch Laborversuche), die auch auf eine mögliche Beeinflussung der Organismen hinweisen.

In Untersuchungen von KOOPS (1974, 1975) konnten keine Beziehungen sowohl zwischen der Wassertemperatur und der Phytoplankton-Artenzahl, als auch zwischen der Wassertemperatur und der relativen Abundanz der verschiedenen Arten nachgewiesen werden. Erste Untersuchungen des Autors zum Chlorophyllgehalt und zur Primärproduktion zeigten ein vergleichsweise geringes Anwachsen der beiden Parameter im erwärmten Auslaufwasser des Kraftwerkes ( t = 8 °C). Dagegen stellten HICKMANN und KLARER (1974) in aufgeheizten Litoralzonen des Wabamun Sees bei zahlreichen epiphytischen Algenarten ausgedehnte Frühjahrs- und Herbstmaxima fest. Ferner war durch die Kühlwässer ein Anwachsen des "standing crop" bei planktischen Algen zu erkennen, während bei dem "standing crop" von benthischen Algen keine Beeinflussung nachgewiesen werden konnte.

NOTON (1975) gibt für den Wabamun See ein durch die Kühlwässer bedingtes Anwachsen der Phytoplanktonproduktivität von rund 2% an. Hierauf hatten schon in gewissem Sinn NURSALL und GALLUP (1971) hingewiesen, nach denen in den warmen Bereichen Elodea canadensis ein massenhaftes Auftreten zeigte.

WALLACE (zit. bei CAIRNS 1966) konnte in Laborversuchen nachweisen, daß die verschiedenen Algengruppen unterschiedliche Temperaturoptima besitzen. Diatomeen hatten bei 20 °C, Grünalgen bei 33°C und Blaualgen bei 40 °C ihr Populationsmaximum. Entsprechende Populationsverschiebungen stellten BICK und BERTRAM (1973) in Laborversuchen auch bei Ciliaten fest.

MARKOWSKI (1956) fand im Auslaufwasser eines Kraftwerkes 45% mehr Nematoden als im Einlaufwasser.

ASTON (1973) zeigte am aufgeheizten River Trend, daß die Eiproduktion von Limnodrilus hoffmeisteri mit steigender Wassertemperatur ansteigt, während dieselbe bei Tubifex tubifex zwischen 10° und 20 °C temperaturanabhängig ist. In einer neueren Arbeit weisen ASTON und BROWN (1975) bei Herpobdella octoculata auf die Wechselbeziehung zwischen Temperaturerhöhung und Belastung des Flusses mit häuslichen Abwässern hin.

Ausgehend von zahlreichen Laborversuchen wird eine der Hauptgefahren einer Gewässererwärmung in der Beschleunigung von Entwicklungszyklen (RGT-Regel) gesehen. Durch Erhöhung der Wassertemperatur von 2° C auf 16° C schlüpften Ephemeriden-, Plecopteren- und Trichopterenimagines in Laborversuchen bis zu 5 Monaten eher

als im Freiland (NEBEKER 1971 a-c).
Ähnliches zeigte RUPPRECHT (1975) in Laborversuchen bei Perla marginata und Aschnea cyanea. RUPPRECHT macht darauf aufmerksam, daß bei einer Gewässeraufheizung nicht nur die Letaltemperaturen berücksichtigt werden sollten, sondern schon die Temperaturschwellen, bei denen sich die Verhaltensweisen der Organismen ändern. TROTTIER (1973) berichtet über die Temperaturabhängigkeit des Emergenzverhaltens von Anax junius.
LANGFORD (1971) fand an dem aufgeheizten "River Severn at Ironbridge" keine Beeinflussung des Entwicklungsganges bei Ephemeriden und Plecopteren. ILLIES (1959) wies bei Baetis rhodani-Larven einen Retardierungsmechanismus nach, der ein zu frühes Schlüpfen verhindert. Temperaturabhängigkeit der Embryogenese und der embryonalen Diapause wurden u.a. bei Ephemeridenarten (BOHLE 1969, 1972) und bei Culicidaen (TRIPS, HAUFE und SHEMANCHUK 1973) festgestellt.
Auch von fischereibiologischer Seite werden ernste Bedenken gegen die Gewässeraufheizung erhoben (z.B. Elster 1968,"Sauerstoffschere"). Die Abhängigkeit der Letaltemperatur von der Adaptionstemperatur konnte ALABASTER (1963) bei einigen Fischarten nachweisen. Entsprechendes wurde neuerdings in umfangreichen Untersuchungen an 13 Fischarten (Cyprinidae, Centrarchidae, Ictaluridae und Salmonidae) von CHERRY u.a. (1975) bestätigt.
Durch ungewöhnliche Temperaturerhöhungen kommt es bei Ei- und Jugendstadien zahlreicher Fischarten zu Entwicklungsstörungen, Mißbildungen und Totalausfällen und in einigen Fällen auch zu einer Vorverlegung der Laichzeiten ( ELSTER 1968, BRUNGS 1971, MARCY 1971 APPOURCHAUX 1972, HADDERINGH 1975).
ASH, CHYMKO und GALLUP (1974) berichten von einem gewaltigen Fischsterben im Auslaufkanal des Sundance Kraftwerkes am Wabamun See, nachdem die Temperatur innerhalb von 30 Minuten von 21,8 °C auf 4,9 °C sank und bestätigen damit eindrucksvoll die Befürchtungen von ELSTER (1968) (S.306). KELSO (1976) zeigt in Felduntersuchungen am Nauticoke Kraftwerk (Erie-See) die Beeinflussung der Schwimmrichtungen von Perca flavescens und Catostomus commersoni durch die Kühlwässer des Kraftwerkes.
STAUFFER u.a. (1974) stellten bei ihren Untersuchungen zur Fischbesiedlung (41 Arten, 15300 Individuen) im Auslaufwasser eines Kraftwerkes ein leichtes Ansteigen der Diversitätindices fest.
PROFFITT und BENDA (1971) sowie WHITAKER und SCHLUETER (1973), die die Fisch- und Makroinvertebratenfauna des aufgeheizten White River, Petersburg, Indiana, untersuchten, stellten zwar Unter-

schiede unterhalb und oberhalb des Kraftwerkes fest, doch waren diese Unterschiede ihrer Ansicht nach so gering, daß der Einfluß anderer abiotischer Faktoren nicht ausgeschlossen werden konnte. Insgesamt gesehen wirkt sich nach ihnen die Aufheizung auf die Tierwelt nicht aus("And in comparsion with man's deadliest weapons, Petersburg heated discharge is quite innocous" PROFFITT und BENDA, 1971, S.92).
In jüngster Zeit werden Forderungen nach Forschungsarbeiten laut, die sich mit den Wechselbeziehungen zwischen der Aufheizung der Flüsse und dem Gehalt an Schadstoffen und deren Auswirkungen auf die Biozönose beschäftigen. Erste Hinweise geben CAIRNS und SCHEIER 1957, BURTON u.a. 1972, CAIRNS und MESSENGER 1974, sowie COUNTANT und PFUDERER 1974 und COUNTANT und TALMAGE 1975, die in ihren Literaturrückschauen zahlreiche Nachweise einer temperaturabhängigen Schadstoffresistenz vorstellen.

## 1.2 Zielsetzung

Die im vorstehenden Kapitel dargestellten Arbeiten verdeutlichen, daß eine Gewässererwärmung auf die verschiedenen Glieder einer Biozönose gravierende Einflüsse haben kann. Daß es dabei zu teilweise widersprüchlichen Aussagen kommt, liegt daran, daß die Einzelbefunde von verschiedenen Gewässern (-typen) stammen.
Von Flüssen und Seen verschiedener geografischer Regionen, die naturgemäß auch unterschiedliche abiotische Faktoren (Temperatur, Chemismus, Abwasserbelastung) und Organismengruppen besitzen.
Es besteht daher für uns die Frage, ob die ohne umfassende Untersuchungen von behördlicher Seite geforderten Grenzwerte für die Aufheizung von Gewässern ihre Berechtigung haben.
Deshalb soll es das Ziel der vorliegenden Arbeit sein, erstmalig festzustellen, inwieweit die Benthalzoozönose eines Mittelgebirgsflusses unserer Region durch die Abwärme eines Kraftwerkes beeinflußt wird.
Die Ergebnisse sollen sowohl allgemeingültigen Charakter für die Benthalzoozönose haben, als auch durch spezielle autökologische Untersuchungen an einem ausgewählten Vertreter der Benthalzoozönose zeigen, inwieweit bestimmte Organismengruppen durch die Aufheizung beeinflußt werden können.
Da primär nur die Einwirkung der Wassertemperatur auf die Zoozö-

nose im Vordergrund stand, war es wichtig, einen Fluß zu finden, dessen chemisches Zustandsbild eine isolierte Betrachtung der Wassertemperatur zuließ. Grundbedingung war jedoch auch eine regelmäßige exakte Kontrolle der abiotischen Faktoren. Nur so kann der Einfluß möglicher Veränderungen richtig beurteilt werden! Die Wahl fiel dabei auf das Kraftwerk Elverlingsen an der Lenne, einem Mittelgebirgsfluß, dessen Abwässerbelastung in der Kraftwerksregion als relativ gering zu bezeichnen ist (siehe S. 158-159). In einem zweiten Teil dieser Arbeit sollen durch Laborversuche im "Feld" gefundene Ergebnisse näher untersucht und ergänzt werden. Das gilt besonders für die autökologischen Untersuchungen, die durch spezielle Laborversuche vervollständigt werden sollen.

## 1.3 Danksagungen

Wie alle Freilanduntersuchungen, so wurde auch die vorliegende Arbeit erst durch die wohlwollende Unterstützung zahlreicher Personen und Institutionen ermöglicht.
Mein herzlicher Dank gilt meinem Lehrer, Herrn Prof. Dr. Hans M e r g n e r, für die freundliche Überlassung des Themas und die Bereitstellung eines Arbeitsplatzes im Lehrstuhl für Spezielle Zoologie der Ruhr-Universität Bochum. Herrn Dr. Helmut S c h u h m a c h e r vom selben Lehrstuhl danke ich für richtungsweisende Anregungen und das stete Interesse am Verlauf der Arbeit.
Großen Dank schulde ich ferner dem Leiter des chemisch-biologischen Labors des Ruhrverbandes in Essen, Herrn Dr. Paul K o p p e, der die finanzielle Unterstützung der Untersuchungen durch die DFG vermittelte. Sowohl ihm, als auch besonders Herrn Dr. Ernst A. N u s c h vom Ruhrverband danke ich für zahlreiche Diskussionen und Informationen.
Dank schulde ich ebenfalls Herrn Obering. L o t z und Herrn Dipl.-Ing. S t e m m e r vom Kraftwerk Elverlingsen, die mir oftmals auf unbürokratischem Weg bei technischen Problemen (Stromversorgung, Brückenbau etc.) Hilfe leisteten und meine Freilanduntersuchungen in jeder Weise unterstützten. Herrn Landwirt H. S p a n n a g e l und seiner Frau in Altena-Stortel, sowie Herrn G. W ä s c h e in Altena sei ebenfalls an dieser Stelle für ihr freundliches Entgegenkommem bei meinen Freilanduntersuchungen gedankt.
Der Firma "Vereinigte Deutsche Metallwarenfabrik (VDM)", Altena, danke ich für die Erlaubnis, ihr Betriebsgelände zu jeder Tages-

und Nachtzeit betreten zu dürfen; der Elektromark Betriebsstelle Werdohl für die Hilfeleistungen bei der Stromversorgung der Meßstelle Biesenberg. Ohne die großzügige Bereitstellung von Mitteln der DFG an Herrn Dr. P. K o p p e hätte diese Arbeit nicht durchgeführt werden können. Hierfür sei an dieser Stelle der DFG gedankt.

## 2. Felduntersuchungen am Kraftwerk Elverlingsen

### 2.1 Die Untersuchungsregion

#### 2.1.1 Allgemeine Betrachtung

Mit einem Einzugsgebiet von 1345,8 $km^2$ ist die Lenne der Hauptentwässerer des östlichen Sauerlandes. Sie entspringt am Kahlen Asten in einer Höhe von 818 Metern ü. NN, fließt zunächst in westlicher Richtung, um dann nach Durchbruch der nordöstlichen Ausläufer des Ebbegebirges in nordwestlicher Richtung zu entwässern. Vielfach mäandrierend (Lehna = die an dem Hang entlang Fließende, HENNIGS o.J.) mündet sie nach einer Fließstrecke von rund 131 km oberhalb des Hengstey-Sees bei Hagen in die Ruhr (96m ü.N.N.; siehe Abb. Nr. 1). Das Gefälle beträgt demnach von der Quelle bis zur Mündung 722 Meter.
Der geologische Aufbau des Sauerländer Oberlandes wird von den Gesteinen des Devons bestimmt, die als ursprünglich lockere Meeresablagerungen verfestigt und während der Variskischen Faltung innerhalb des Karbons gefaltet und gehoben wurden. Die Lenneschiefer umfassen nach BECKMANN (1953) einen großen Schichtenkomplex, der aus wechselnden Lagen von Grauwacken, dichten Sandsteinen, Schiefer und selteneren Quarziten und Kalkbänken besteht. Die Auffüllung der heutigen Talsohle mit Ablagerungen fand während des Alluviums statt (ROSENBOHM 1963).
Im Lennetal treten auf Grund des schwankenden Grundwasserspiegels und der zeitweiligen Überflutungen während der Hochwasserperioden verschiedene Formen des Auenbodens auf, so daß die Lenne von einer typischen Auenwaldvegetetion (Eichen, Schwarzpappeln und Weiden) begleitet wird. In den angrenzenden Bergbachtälern (z.B.

des Ebbegebirges) herrscht dagegen eine charakteristische Eschen-Ahorn-Schluchtwaldvegetation vor.

Der große Fischreichtum der Lenne stellte im frühen Mittelalter die Haupterwerbsquelle der ansäßigen Bevölkerung dar. Erste Störungen brachte im 12. Jahrhundert die Eisenerzgewinnung und die damit verbundene Drahtverarbeitung mit sich, die im 17. Jahrhundert einen erneuten Aufschwung bekam und seitdem im Lennetal als Hauptindustriezweig anzusehen ist. Die Wasserkraft bedeutete für die eisenverarbeitende Industrie eine sehr billige und fast unerschöpfliche Energiequelle, so daß im Mittel- und Unterlauf der Lenne zahlreiche Stauhaltungen eingerichtet wurden.
Nach HENNIGS (o.J.) wurden Ende des vergangenen Jahrhunderts im Mittellauf der Lenne noch Lachse, Barben, Bleie, Hechte, Ellritzen und Forellen (bis 90 cm lang) gefangen. Nach demselben Autor sind bei einem Fischzug in Altena an einem Tag über 50 Zentner Fische, hauptsächlich Ellritzen, gefangen worden.
Durch die Ansiedlung weiterverarbeitender Metallindustrie (z.B. Galvanikbetriebe) und der damit verbundenen Einleitung hochtoxischer Industrieabwässer wurde in den vergangenen Jahrzehnten der Tierbestand der Lenne im Mittel- und Unterlauf fast vollständig vernichtet (TACK 1972). Erst in den letzten Jahren ist auf Grund der verschärften Auflagen bei Abwassereinleitungen durch das neue Wasserhaushaltsgesetz und den Bau zahlreicher kommunaler Kläranlagen eine deutliche Verbesserung des Lennewassers in chemischer und biologischer Hinsicht zu erkennen. Hinzu kommt, daß durch den Bau der Biggetalsperre laufend große Wassermengen (auch während der Sommermonate) in die Lenne eingespeist werden, die ebenfalls eine sichtbare Verbesserung der Wasserqualität bewirken.

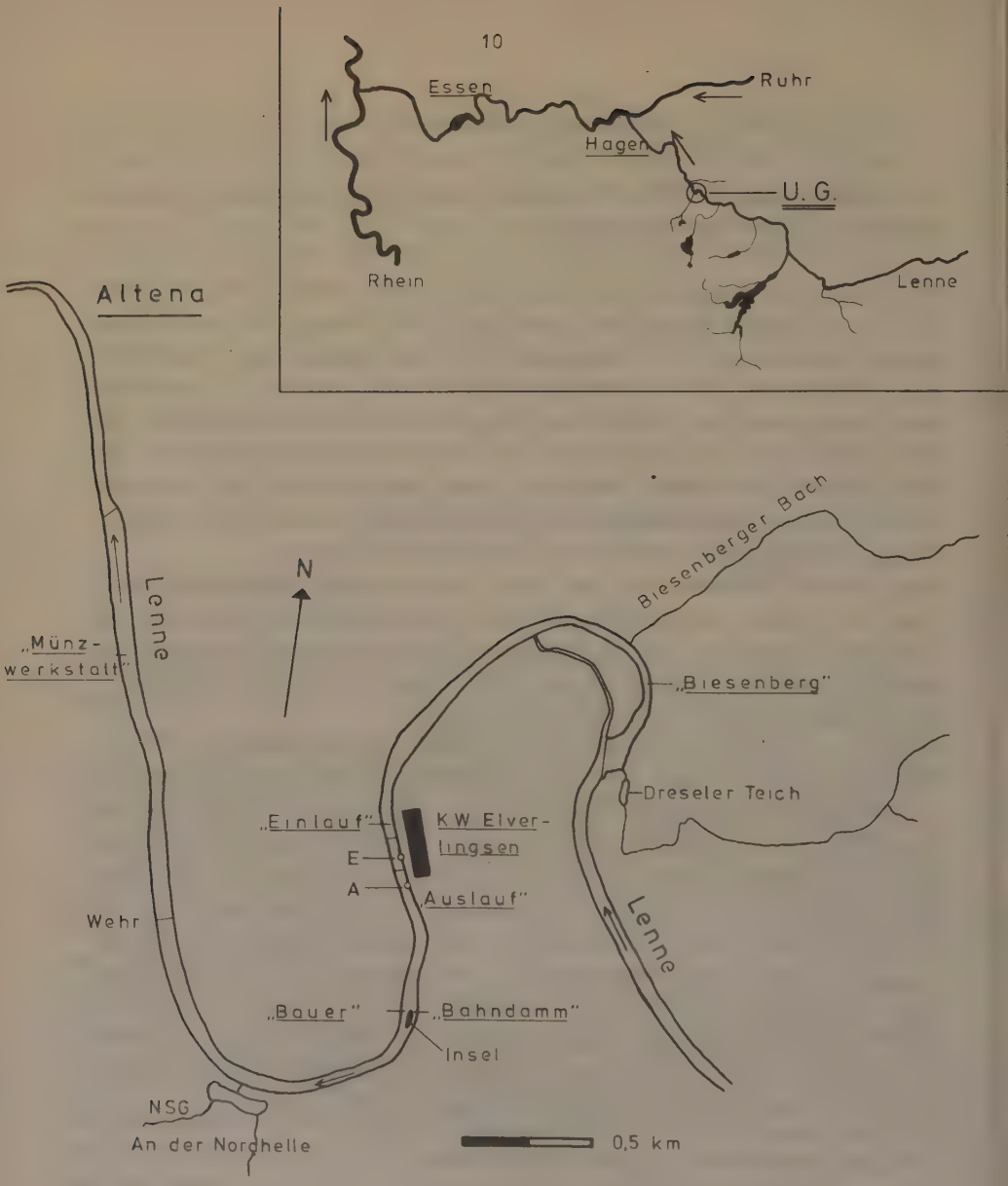



Abb. Nr. 1 Das Untersuchungsgebiet an der Lenne.
E = Kühlwassereinlauf, A = Kühlwasserauslauf

## 2.2 Der Untersuchungsabschnitt am Kraftwerk Elverlingsen

Das Untersuchungsgebiet befindet sich an der Grenze zwischen Mittel- und Unterlauf der Lenne und umfaßt den Abschnitt "Lenne km 36 " bis "Lenne km 31 " (siehe Abb. Nr. 1 und 2).
Das Gefälle der Lenne beträgt nach ROSENBOHM (1963) in diesem Bereich 1,9 Meter auf 1000 Meter. Die mittlere Flußbreite liegt etwa bei 40 Meter! Neben den Kommunalabwässern der Ortschaft Elverlingsen, die mechanisch geklärt werden und denen einiger Lenneanlieger, sind als Industrieabwässer die Kühlwassereinleitungen des Kraftwerkes Elverlingsen zu nennen.
Das Kraftwerk Elverlingsen ist ein herkömmliches Kohlekraftwerk mit einer einfachen Durchlaufkühlung. Nach Beendigung der Freilanduntersuchungen wurde in diesem Jahr mit dem Bau von zwei Gasturbinen begonnen, die eine zusätzliche Leistung von 210 MW liefern! Das zur Kondensation des Kreislaufwassers benötigte Lennewasser wird aus dem Stau in Höhe des Kraftwerkes entnommem und in einem speziellen Rohrsystem durch den Kondensator geleitet, wobei es die Dampfwärme aufnimmt.
Durch den Auslaufpilz wird das Kühlwasser wieder in die Lenne eingeführt(Abb. Nr. 2,3,4,8,9). Unabhängig von der Leistung des Kraftwerkes werden in der Regel 8 $m^3/s$ Lennewasser zu Kühlzwecken entnommen. Innerhalb des Röhrensystems wird das Lennewasser nicht chemisch beeinflußt; möglicher Algenbewuchs im Leitungsnetz wird mechanisch durch Einblasen von Gummibällchen beseitigt. Die Leistung des Kraftwerkes war während der Untersuchungsjahre keineswegs einheitlich, sondern vielmehr saisonalen Schwankungen unterworfen, deren Gründe hauptsächlich im energiewirtschaftlichen Bereich liegen.
Nach Tabelle Nr. 1 lag im vergangenen Jahr die Leistung des Kraftwerkes Elverlingsen im Mittel rund 75% unter der möglichen von 220 MW. Spezielle Untersuchungen, wie z.B. Driftuntersuchungen, gestalteten sich als überaus schwierig, da von der hilfsbereiten Betriebsführung des Kraftwerkes keine Voraussagen über die Arbeitsdauer und die mögliche Leistung gemacht werden konnte. Hier war man von den Maßnahmen der Zentrale in Hagen abhängig, die je nach der energiewirtschaftlichen Lage in der Regel äußerst kurz-

fristig über Arbeitsdauer und Leistung entschied. Die tägliche Stromerzeugung geschah in der Regel zwischen 7.00 und 18.00 Uhr. Lediglich während der Energiekrise 1973/74 wurde auch nachts durchgearbeitet!

| | 1974 | 1975 |
|---|---|---|
| Januar | 176 | 88 |
| Februar | 188 | 75 |
| März | 182 | 62 |
| April | 129 | 81 |
| Mai | 173 | 42 |
| Juni | 121 | 37 |
| Juli | 114 | 23 |
| August | 66 | 5 |
| September | 155 | 9 |
| Oktober | 140 | 43 |
| November | 142 | 71 |
| Dezember | 88 | 66 |

Tabelle Nr. 1: Leistung des Kraftwerkes Elverlingsen vom 1.1.1974 bis 31.12.1975. Angaben in MW, bezogen auf die jeweiligen Monatsstunden.

Nachstehend wird eine kurze Beschreibung der einzelnen Untersuchungspunkte gegeben.

Untersuchungspunkt "Biesenberg" : Der Untersuchungspunkt "Biesenberg" befindet sich ca. 1,5km im Fließbereich oberhalb des Kraftwerkes in Höhe des Hauses "Biesenberg". Das dort befindliche Meßgerät registrierte Sauerstoffgehalt und Temperatur des Wassers. 1975 war an dieser Stelle die Lichtfalle für die Imaginesfänge installiert. Die Besiedlungsplatten waren hier 1974 in Flußmitte deponiert worden; nach dem Verlust der Platten durch das Hochwasser im Winter 1974/75 wurden im Frühjahr 1975 die Platten ca. 500 Meter oberhalb im Fließbereich ausgelegt. Die Makrofauna wurde 1974 hauptsächlich an der erstgenannten, 1975 jedoch vorwiegend an der neuen Stelle aufgenommen. Das Flußbett ist dort, wie an allen anderen Stellen des Fließwasserbereiches mit groben Schottersteinen ausgekleidet. Siehe hierzu Abb. Nr. 5 und 6.

Untersuchungspunkt "Einlauf": Hier war im Staubereich in Höhe des Kraftwerkes, ca. 200 Meter vor dem neuen Einlaufbauwerk das zweite automatische Meßgerät installiert, das pH-Werte, Sauerstoffgehalt und Temperatur des Wassers registrierte. In dem Wehrhäuschen war ferner der Globalschreiber untergebracht, mit dem die Global-

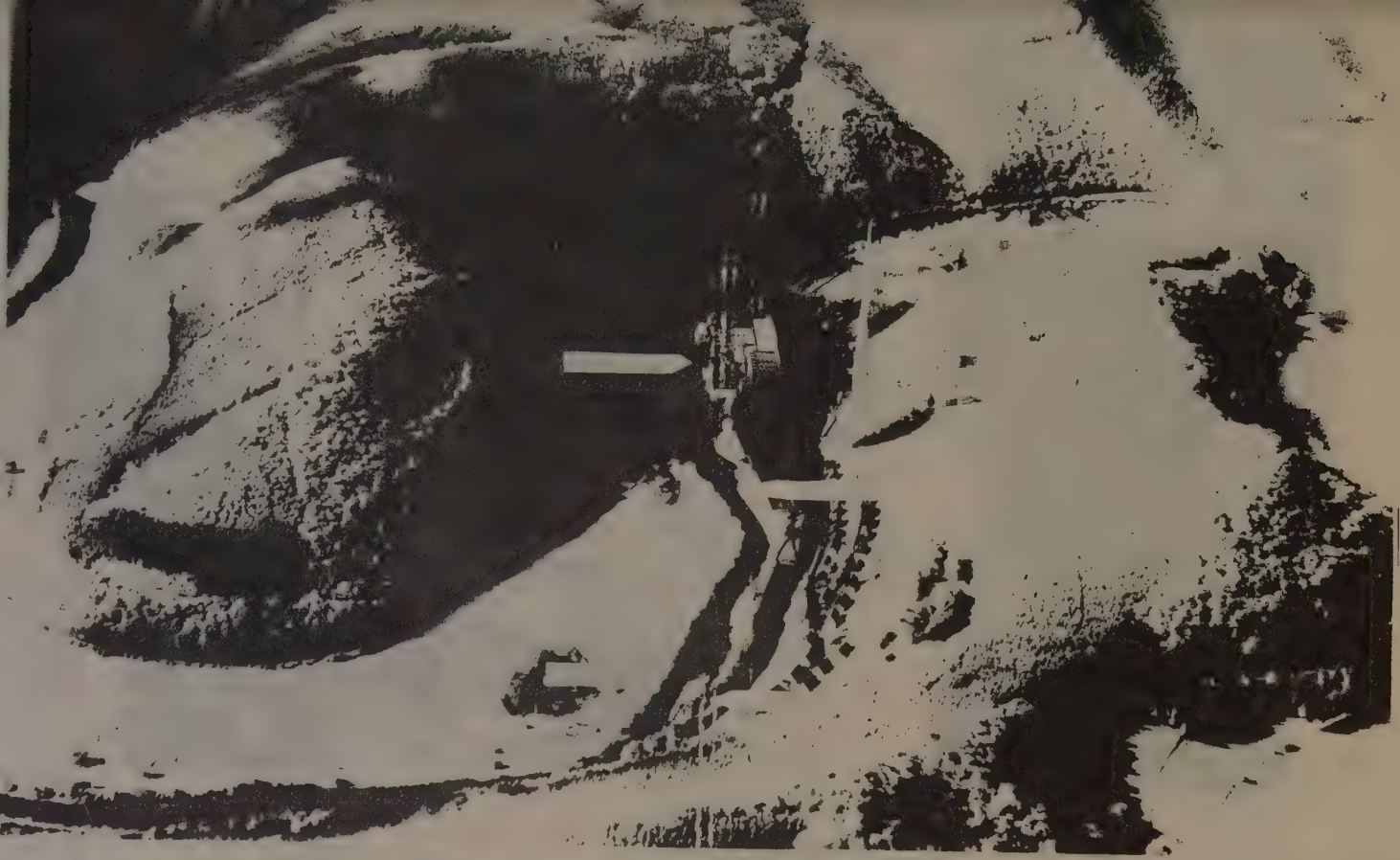


Abb. Nr. 2 Das Untersuchungsgebiet am Kraftwerk Elverlingsen; aufgenommen aus einer Höhe von 1200 m; Freigabe Nr. Reg.präs. Münster 27/74.

Abb. Nr. 3: Das Untersuchungsgebiet am Kraftwerk Elverlingsen; aufgenommen aus einer Höhe von 1200 m; Freigabe Nr. Reg.präs. Münster 4399/74

Abb. Nr. 4: Das Untersuchungsgebiet am Kraftwerk Elverlingsen; aufgenommen aus einer Höhe von 1000 m; Freigabe Nr. Reg.präs. Münster 4397/74

Abb. Nr.5: Lennebiotop oberhalb vom Untersuchungspunkt "Biesenberg"

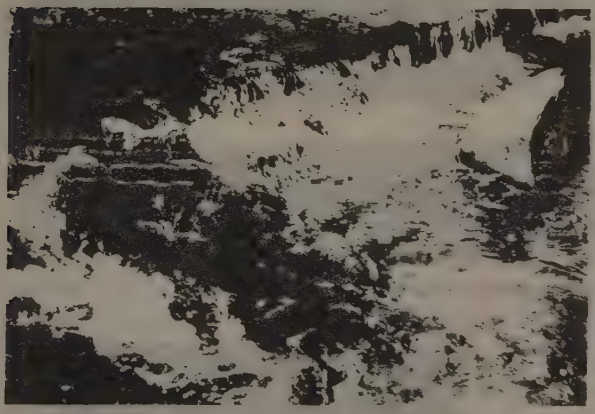


Abb. Nr. 6:

Stark durchströmte Lennebreiche am "Biesenberg". Hier Vorkommen von Epeorus und Dinocras

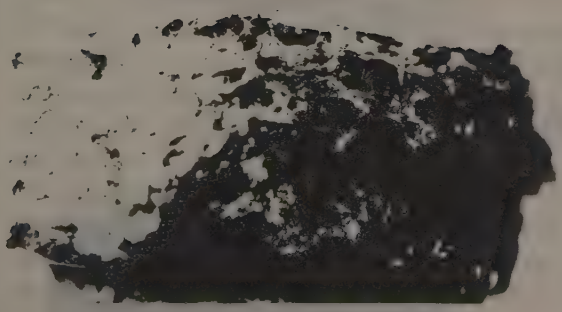


Abb. Nr. 7:

Mit Algen und Fontinalis bedeckter Stein. Typischer Lebensraum von Hydropsyche-Larven

Abb.Nr. 8:

Teilansicht des Kraftwerkes mit Kühlwassereinlauf und Untersuchungspunkt "Einlauf" (Wehrhäuschen, links i.Bild)

Abb. Nr. 9: Kühlwasserauslauf

Abb. Nr. 10: Stahlrohrbrücke am Punkt "Bahndamm", die im Februar 1974 durch Hochwasser abgetrieben wurde

strahlung aufgezeichnet wurde.
1974 wurde an dieser Stelle mit Hilfe einer Lichtfalle der Fang der Imagines durchgeführt, was aber im vergangenen Jahr auf Grund umfangreicher Baumaßnahmen von seiten des Kraftwerkes verhindert wurde. Deshalb war eine Verlegung der Lichtfalle zum Untersuchungspunkt "Biesenberg" notwendig. Die Wasserproben für die wöchentliche Analyse wurden am Einlaufbauwerk entnommen.

Untersuchungspunkt "Auslauf": Ca. 50 bis 60 Meter unterhalb des Auslaufpilzes wurden wie am "Biesenberg" im Fließbereich auch hier die monatlichen Faunenaufnahmen an den ausgelegten Waschbetonplatten vorgenommen. Darüberhinaus wurden während der Frühjahrsmonate 1974 und 1975 an dieser Stelle Imaginesschlüpffallen eingesetzt. Hinzu kamen wöchentliche Probenahmen für die chemische Wasseranalyse. Die Auslauftemperaturen wurden im Pilz von einem Meßgerät des Kraftwerkes registriert; diese Daten wurden uns freundlicherweise vom Kraftwerk zur Verfügung gestellt.

Untersuchungspunkt "Bauer": Dieser Untersuchungspunkt befand sich ca. 500 Meter unterhalb der Warmwassereinleitung innerhalb der rechten Flußseite im Fließbereich. Auch an dieser Stelle waren für die Besiedlungsversuche und Faunenaufnahmen Waschbetonplatten ausgelegt. Kurzfristig kamen im Frühsommer ebenfalls Imaginesschlupffallen zum Einsatz. Zusätzlich wurden Drifuntersuchungen wie am gegenüberliegenden Punkt "Bahndamm" durchgeführt! Normalerweise, d.h. bei einer Wasserführung über $10 m^3$/sec. ist dieser Punkt thermisch unbelastet (s.u.). Zwischen den Untersuchungspunkten "Bauer" und "Bahndamm" wird die Lenne durch eine 70 Meter lange und 17 Meter breite Insel geteilt.

Untersuchungspunkt "Bahndamm": Auf der gleichen Höhe wie der Untersuchungspunkt "Bauer" befand sich zwischen dem linken Flußufer und der linken Inselseite in der Warmwasserfahne der Untersuchungspunkt "Bahndamm". Das Meßgerät registrierte auch hier Sauerstoffgehalt und Temperatur des Wassers. An diesem Punkt wurden analog zum "Bauer" die gleichen biologischen Versuchsreihen durchgeführt.

Untersuchungspunkt "Münzwerkstatt": Etwa 2,7 Kilometer unterhalb des Auslaufes lag im Staubereich am linken Ufer in Höhe des VDM-Werkgeländes "Buchholzer Anschluß" die Meßstelle "Münzwerk-

statt". pH-Werte, Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur wurden von dem Meßgerät registriert. Nach den Stellen "Biesenberg"und "Auslauf" wurden an diesem Punkt innerhalb der wöchentlichen Wasseranalysen Proben entnommen. In den Jahren 1975 und 1976 erfolgte hier die Installation einer Lichtfalle.
In der Tabelle Nr.2 sind einige Charakteristika der Untersuchungspunkte zusammengefaßt.

| Merkmale | Untersuchungspunkte | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Bi. | Einl. | Ausl. | Ba. | Bd. | Mü. |
| oberhalb KW | x | x | - | - | - | - |
| unterhalb KW | - | - | x | x | x | x |
| thermisch beeinflusst | - | - | x | (x) | x | x |
| Staubereich | - | x | - | - | - | x |
| Fließbereich | x | - | x | x | x | - |
| Meßgerät: pH | - | x | - | - | - | x |
| $O_2$ | x | x | - | x | x | x |
| °C | x | x | (x) | x | x | x |
| wöchentl. Probenahme | - | x | x | - | - | x |
| Besiedlungsplatten | x | - | x | x | x | - |
| Faunenaufnahme | x | (x) | x | x | x | (x) |
| Driftversuche | - | - | - | x | x | - |
| Lichtfalle | x | x | - | - | - | x |
| Schlüpffalle | - | - | x | x | - | x |
| Objektträger | - | x | - | - | - | x |

Tabelle Nr. 2: Einige Charakteristika der Untersuchungspunkte oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes.
Bi. = Biesenberg, Einl. = Einlauf, Ausl. = Auslauf, Ba. = Bauer, Bd. = Bahndamm, Mü. = Münzwerkstatt.

## 2.3 Methoden

### 2.3.1 Methoden zur Erfassung der meteorologischen, chemischen und physikalischen Parameter

Niederschlag und Lufttemperatur

Niederschlag und Lufttemperatur werden von den Mitarbeitern des Kraftwerkes Elverlingsen täglich registriert. Die Meßdaten während des Untersuchungszeitraumes stellte man mir freundlicherweise zur Verfügung.

Globalstrahlung

Die Globalstrahlung ($cal/cm^2$) wurde mit einem am "Einlauf" aufgestellten Meßgerät (Sternpyranometer nach DIRMHIRN mit Galvanometer-Punktschreiber) der Firmen SCHENK, Wien und JOENS, Düsseldorf registriert.

Wasserführung

Wie Niederschlag und Lufttemperatur, so wird auch die Wasserführung am Kraftwerk Elverlingsen fortlaufend automatisch aufgezeichnet. Diese Meßdaten wurden mir ebenfalls vom Kraftwerk überlassen.

Wassertemperatur

Von Mai 1974 bis September 1975 wurde die Wassertemperatur (neben dem Sauerstoffgehalt und dem pH-Wert) an den fünf bekannten (s.o.) Meßpunkten von kombinierten Meßgeräten der Firmen JOENS und MEZ, beide Düsseldorf, automatisch registriert (siehe Abb.11a-c).Sämtliche an das kommunale Stromnetz angeschlossenen Meßgeräte wurden mit ihren Meßköpfen von Herrn Dipl.-Ing. Erich MEZ an die jeweiligen Strömungsverhältnisse und Wasserstände angepaßt. Die vor Hochwasser geschützt angebrachten Meßgeräte haben sich gut bewährt. Die wöchentlichen Kontrollen wurden sowohl von Mitarbeitern des Ruhrverbandes als auch von mir selbst durchgeführt. Dabei erfolgte eine Reinigung der Meßköpfe sowie der Elektroden, welche in der Regel einmal pro Woche mit einer neuen Membran versehen und nachgeeicht wurden!
Darüberhinaus stellte ich zwischen 1973 und 1975 bei allen Untersuchungen die Wassertemperatur mit einem geeichten Quecksilberthermometer (0,1 $^{o}C$ genau) fest, so daß zusätzliche 1500 Temperaturdaten zur Verfügung stehen.

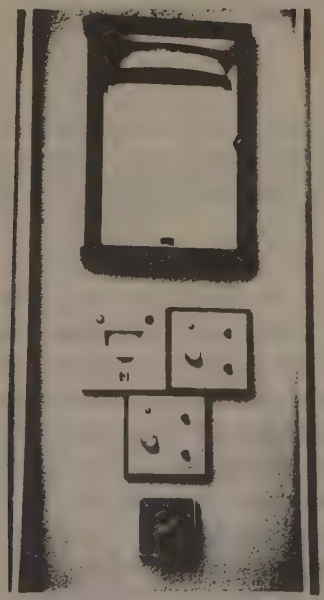


Abb. Nr. 11 a-c: Das Meßgerät am Untersuchungspunkt "Münzwerkstatt". Im Bild oben ist links der mit einem Schwimmring versehene Meßkopf zu erkennen, während in dem Stahlkasten rechts (siehe auch die unteren Abbildungen) die Meß- und Schreibinstrumente untergebracht sind. Der weiße Strich unterhalb des Stahlkastens gibt den Wasserstand beim Hochwasser im Winter 1974/75 an.

Sauerstoffgehalt

Neben den von den Meßgeräten (MESSTRONIK $O_2$- Elektrode, Toleranz bei Vollausschlag ±3%) registrierten Sauerstoffwerten wurden bei den wöchentlichen Probenahmen und den Driftuntersuchungen der Sauerstoffgehalt des Lennewassers nach der in den Deutschen Einheitsverfahren 1960 angegebenen Winkler-Methode bestimmt.

Strömungsgeschwindigkeit

Die Strömungsgeschwindigkeit, der ebenso wie der Wassertemperatur bei der Benthalbesiedlung eine erhebliche Bedeutung zukommt, wurde mit einem OTT-Meßflügel, Typ Nr.10152, festgestellt.

Chemische Parameter

Die chemischen Analysen wurden größtenteils nach den Deutschen Einheitsverfahren in dem chemischen Labor des Ruhrverbandes in Essen durchgeführt.
Die Meßgeräte an den Untersuchungsstellen "Einlauf" und "Münzwerkstatt" registrierten neben Sauerstoffgehalt und Wassertemperatur auch den pH-Wert des Wassers.

## 2.3.2 Methoden zur Erfassung der biologischen Daten

Allgemeine Faunenaufnahme

Bei der Aufnahme der Makroevertebratenfauna (siehe Artenfehlbetrag, Artenidentität) wurden an den oben erwähneten Untersuchungspunkten die im Fluß liegenden Steine aus dem Wasser gehoben und nach Tieren abgesucht. Etwa abdriftende Tiere, z.B. Ephemeropteren, fingen sich in einem in Strömungsrichtung gehaltenen Sieb (Ø = 30 cm; 56 Maschen pro Quadratzentimeter). Zur Erfassung der Fauna des hyporheischen Lebensraumes wurde der Flußboden an den entsprechenden Stellen aufgewühlt und die abdriftenden Tiere mit dem Sieb aufgefangen.

Besiedlungsuntersuchungen

Neben der Auswahl geeigneter Untersuchungsstellen besteht bei allen vergleichenden ökologischen Untersuchungen die Hauptschwierigkeit darin, reproduzierbare, einheitliche Versuchsflächen zu finden, was bei Aussagen, z.B. über die Diversität, Dominanz und Abundanz Grundbedingung ist.

Sollen, wie im vorliegenden Fall die Abundanzen mehrerer Arten am Punkt A mit denen am Punkt B verglichen werden, so sind die Ergebnisse, die man an der Stelle A bei der Untersuchung von zehn faustgroßen Steinen gefunden hat, nur sehr schwer mit den am Punkt B gewonnenen Erkenntnissen vergleichbar. Man muß davon ausgehen, daß schon an jedem einzelnen Stein des Punktes A andere ökologische Bedingungen herrschen, die wir mit Sicherheit nicht an den Steinen des Punktes B wiederfinden.Hinzukommen, gerade bei umfangreichen Felduntersuchungen, die bekannten Schwierigkeiten bei der entsprechenden Umrechnung auf Flächen- und Volumeneinheiten.

Diese Probleme werden weitgehend ausgeschaltet, wenn man den Organismen an den verschiedenen Untersuchungspunkten gleiche Substrate anbietet, die sie besiedeln können. Zu beachten ist hierbei, daß solche Besiedlungsplatten nur von bestimmten Arten angenommen werden. Bei qualitativen Aussagen zur Fauna muß die Erfassung durch die Besiedlungsplatten daher noch durch andere Sammelmetnoden ergänzt werden.

Den Arten, die die Steinober- und Steinunterseiten besiedeln (Hydropsyche, Baetis, Epeorus, Nemurella, Herpobdella) wurden an den einzelnen Untersuchungspunkten als Besiedlungssubstrat drei 50 x 30 cm große Waschbetonplatten geboten, die im Flußbett ca. 5 m vom Ufer entfernt ausgelegt wurden.

Bei Vorversuchen hatte sich gezeigt, daß eine maximale Besiedlung durch die oben angeführten Evertebraten dann auftrat, wenn die Platten mit der grobstrukturierten Oberseite nach unten auf dem Flußboden zuliegen kamen. Zwischen den Kieselstein-Kuppen siedelten sich sehr schnell Hydropsyche-Larven an, die in dem Lückensystem die besten Baumöglichkeiten für ihre Fangnetze vorfanden. Die Platten wurden innerhalb der Untersuchungsstellen in solchen Bereichen ausgelegt, die annähernd gleiche Strömungsgeschwindigkeiten aufwiesen (mit OTT-Meßflügel ausgemessen).
Bei den monatlichen Untersuchungen wurde meistens eine Platte aus dem Wasser gehoben und die auf der Platte sitzenden Tiere abgesucht. Von den massenhaft auftretenden Hydropsyche-Larven entnahm ich in der Regel nur eine größere Stichprobe (n = 30), die -in 70%igem Alkohol fixiert - anschließend im Labor näher untersucht wurde. Auf Grund des Hochwassers mussten diese Untersuchungen während der Wintermonate unterbleiben.

Driftuntersuchungen

An den strömungsgleichen Untersuchungsstellen "Bauer" und "Bahndamm" konnte mit Hilfe von zwei Driftfallen die Driftaktivität der Evertebraten in Abhängigkeit plötzlicher Temperaturschocks (An- und Ausschaltphase des Kraftwerkes) bestimmt werden. Die Driftfallen bestanden aus einem sich nach vorn verjüngenden Trichter ( Vordere Öffnung 20 x 11 cm; hintere Öffnung 40 x 11 cm; Länge 40 cm) an dem hinten ein 1,5 m langer Netzbeutel (920 Maschen pro Quadratzentimeter) mit einem Metallrahmen angebracht war (in Anlehnung an SCHUHMACHER 1970). Die Netzbeutel wurden in zweistündigem Rhythmus entnommen und in einer 30 l Badewanne ausgewaschen, aus der sich die Organismen leicht absaugen und fixieren ließen. Parallel zu den Drifuntersuchungen erfolgte an beiden Untersuchungsstellen die Entnahme von Wasserproben. Nur so war sichergestellt, daß plötzliche Driftunterschiede nicht auf Änderungen irgendwelcher chemischer Parameter zurückgingen.

Lichtfallen

Zur Feststellung der Flugaktivitäten der Ephemeropteren, Plecopteren und Trichopteren setzte ich im Untersuchungsgebiet in Anlehnung an SCHUHMACHER (1970) zwei festinstallierte Lichtfallen ein.

Abb. Nr. 12

Abb. Nr. 13

Abb. Nr. 12 und 13: Imaginesschlüpffallen

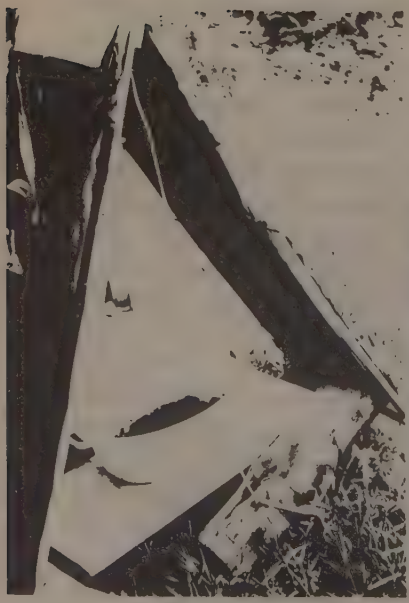


Abb. Nr. 14

Abb. Nr. 14 und 15: Die zur Ermittlung der Flugzeiten benutzten Lichtfallen

Abb. Nr. 15

Die Abbildungen Nr. 14 und 15 zeigen die mit einer Philips UV-Röhre (TL 20 W/08) betriebenen Lichtfallen, die in der Regel einmal pro Woche, während der Monate Juni, Juli und August jedoch täglich kontrolliert werden mussten.

Imaginesschlüpffallen

Die Imaginesschlüpffallen (Abb. Nr. 12, 13) wurden hauptsächlich am "Auslauf" eingesetzt, um an diesem thermisch am stärksten belasteten Punkt die ersten schlüpfenden Imagines während der Monate Januar bis März einzufangen. Wegen des zeitweise stark schwankenden Wasserstandes undder hohen Strömungsgeschwindigkeiten hatte dieses nur mäßigen Erfolg. Erschwerend kam hinzu, daß die Fallen hin und wider von Unbekannten entwendet wurden.

Periphytonuntersuchung

Zur Bestimmung der Aufwuchsalgen und der sessilen Ciliaten unterhalb und oberhalb des Kraftwerkes (Saprobienindex) wurde an den Stellen "Münzwerkstatt" und "Einlauf" jeweils ein Gummistopfen mit Objektträgern im Gewässer deponiert (nach NUSCH 1970).

Determination

Als Bestimmungsliteratur sind folgende Arbeiten benutzt worden: EDINGTON (1964), FREUDE u.a. (1971), HYNES (1953), ILLIES (1955), MACAN (1961), MAY (1933), MOSELY (1939), REITTER (1909), SCHOENEMUND (1930), SEDLAK (1971), SOWA (1970), SZCZESNY (1974), TOBIAS (1972 a,b), ULMER (1909) und ZWICK (1967).

Für die Bestimmung, bzw. der Überprüfung der Bestimmung der verschiedenen Insektenarten danke ich folgenden Herren:
Ephemeroptera: Dr. V. PUTHZ (Schlitz); Plecoptera: Dr. P. ZWICK (Schlitz); Trichoptera: Dr. L. BOTOSANEANU (Bukarest), Dr. H. MALICKY (Lunz am See), Dr. E. SEDLÁK (Brünn), B. STATZNER (Kiel) und Herrn Dr. W. TOBIAS (Frankfurt/Main).
Die Herren E. MERTSCHENK und Dr. E.A. NUSCH (beide Essen) bestimmten die Algenflora. Herrn Dr. NUSCH sei ferner auch für die Ciliatenbestimmung herzlichst gedankt.

## 2.4 Ergebnisse

### 2.4.1 Meteorologische Daten

#### 2.4.1.1 Niederschlag

Die Niederschlagsmengen sind in der Tabelle Nr. 3 und der Abbildung Nr. 16 dargestellt. 1973 wurde als Jahressumme 891,3 mm , 1974 1143,9 mm und im vergangenen Jahr 810,1 mm Niederschlag registriert. Nach ROSENBOHM (1963) gehört der Kreis Altena (jetzt Märkischer Kreis) in meteorologischer Sicht zu einem ausgesprochenen Staugebiet, in dem neben dem Hohen Venn und dem Rothaargebirge innerhalb NRW die höchsten Niederschlagsmengen fallen.
Stortel, und damit der untersuchte Lenneabschnitt gehört nach ihm zu den Regenschattenlagen, was in den für das Sauerland niedrigen Niederschlagsmengen zum Ausdruck kommt. Für den Zeitraum 1891 - 1930 gibt ROSENBOHM nach der "Klimakunde des Deutschen Reiches" als Jahresmittel für Stortel 1055 mm Niederschlag an.
In der 8 km vom Untersuchungsgebiet entfernt liegenden Klimastation Lüdenscheid, die auf einer Hochfläche gelegen ist (444 m ü. NN) wurden zwischen 1891 und 1930 als Jahresmittel 1203 mm, und zwischen 1930 und 1959 1293 mm Niederschlag gemessen. Die maximale jährliche Niederschlagssumme betrug 1658 mm und die minimale 806 mm Niederschlag.
Verglichen mit diesen Angaben sind die Niederschlagsmengen im Lenneuntersuchungsgebiet zwischen 1973 und 1975 als normale Niederschlagsmengen zu werten. Die maximalen Niederschläge wurden jeweils im Dezember mit 120,1 mm (1973), bzw. mit 207 mm im Jahr 1974 erreicht. Minimale Niederschläge fielen im Juni und August 1973 (jeweils 42,2 mm) und im April 1974 (14,6 mm). Das vergangene Jahr war mit einer Jahressumme von 810,1 mm Niederschlag das regenärmste des Untersuchungszeitraumes. Damit fiel 1975 rund 30% weniger Regen als 1974. Im Februar konnte als niedrigste Menge 23,9 mm Niederschlag verzeichnet werden, während der Juli mit 118,5 mm der regenreichste Monat des Jahres 1975 war. (Zur Wasserführung siehe Kapitel 2.4.2.1).

#### 2.4.1.2 Lufttemperatur

Abbildung Nr. 16 und Tabelle Nr. 3 zeigen ferner die mittleren Monatslufttemperaturen. Im Jahresmittel betrug die Lufttemperatur 1973 und 1974 9,5 °C und lag mit 9,7 °C im Jahr 1975 nur unbedeutend höher. Der jahreszeitliche Verlauf ist in den drei unter-

| | | Lufttemperatur (°C) | Niederschlag (mm) | Wasserführung ($m^3/s$) |
|---|---|---|---|---|
| 1973 | Januar | 2,0 | 67,1 | 15,2 |
| | Februar | 2,4 | 105,4 | 33,4 |
| | März | 4,5 | 44,1 | 24,6 |
| | April | 6,0 | 97,2 | 42,9 |
| | Mai | 12,9 | 64,7 | 14,3 |
| | Juni | 17,4 | 42,2 | 10,5 |
| | Juli | 17,2 | 62,3 | 11,6 |
| | August | 22,1 | 42,2 | 11,7 |
| | September | 14,3 | 45,0 | 11,0 |
| | Oktober | 8,3 | 97,8 | 17,1 |
| | November | 4,9 | 103,2 | 20,7 |
| | Dezember | 1,9 | 120,1 | 41,9 |
| | Mittelwerte 1973 | 9,5 | (Su 891,1) | 26,3 |
| 1974 | Januar | 4,7 | 91,2 | 50,7 |
| | Februar | 4,3 | 80,6 | 51,6 |
| | März | 6,3 | 61,1 | 18,8 |
| | April | 8,5 | 14,6 | 11,5 |
| | Mai | 11,4 | 60,3 | 11,4 |
| | Juni | 14,5 | 101,7 | 13,9 |
| | Juli | 15,4 | 115,9 | 20,4 |
| | August | 16,3 | 62,1 | 20,5 |
| | September | 13,0 | 90,0 | 14,7 |
| | Oktober | 6,5 | 151,1 | 35,7 |
| | November | 6,3 | 107,6 | 45,6 |
| | Dezember | 6,2 | 207,7 | 123,9 |
| | Mittelwerte 1974 | 9,5 | (Su 1143,9) | 47,5 |
| 1975 | Januar | 1,0 | 108,5 | 43,8 |
| | Februar | 3,3 | 23,9 | 26,5 |
| | März | 4,6 | 88,7 | 11,6 |
| | April | 7,5 | 70,7 | 21,9 |
| | Mai | 12,7 | 31,3 | 5,6 |
| | Juni | 14,7 | 104,9 | 6,5 |
| | Juli | 18,7 | 118,5 | 7,2 |
| | August | 18,9 | 39,0 | 8,3 |
| | September | 15,1 | 76,1 | 8,0 |
| | Oktober | 9,3 | 35,5 | 7,5 |
| | November | 6,8 | 73,6 | 9,2 |
| | Dezember | 3,2 | 39,4 | 13,5 |
| | Mittelwerte 1975 | 9,7 | (Su 810,1) | 16,2 |

Tabelle Nr. 3 : Lufttemperatur, Niederschlag und Wasserführung der Lenne von 1973 bis 1975. Zusammengestellt nach Angaben der Betriebsleitung des Kraftwerkes Elverlingsen. Angegeben sind die monatlichen Mittelwerte (Monatssumme bei Niederschlag).

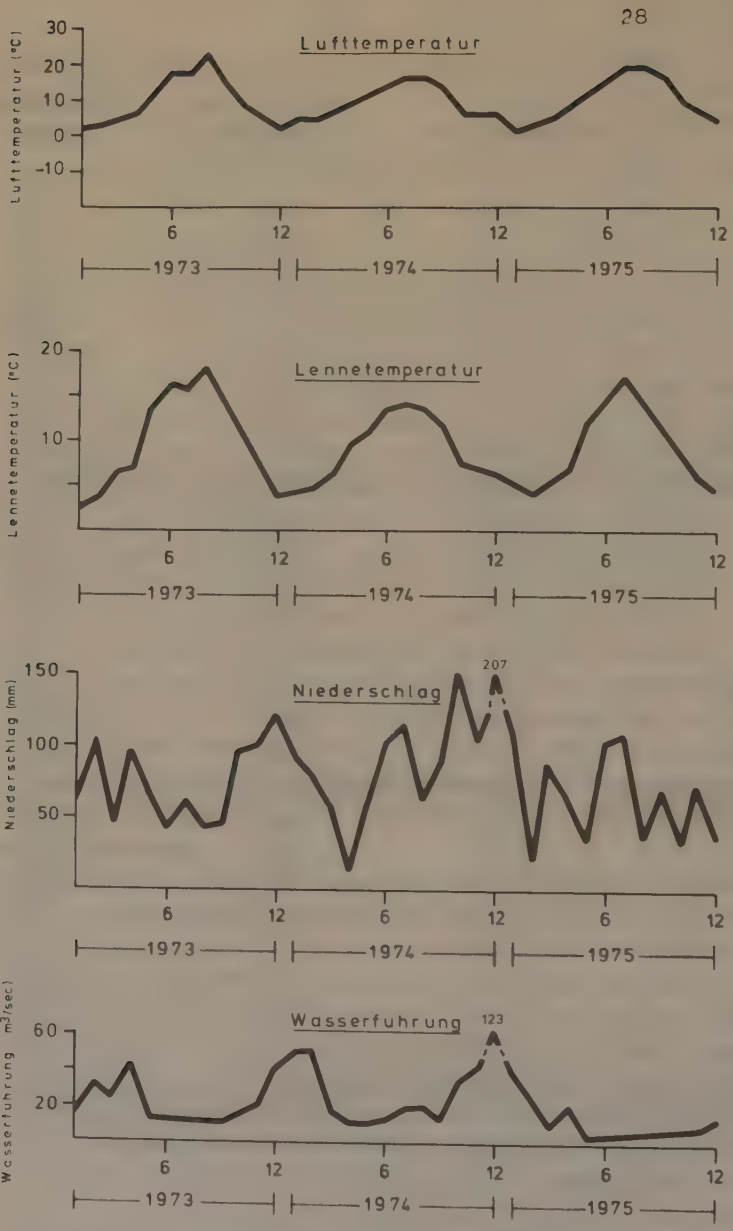



Abb. Nr. 16 a-d Lufttemperatur, Lennetemperatur, Niederschlag und Wasserführung von 1973 bis 1975. Angegeben sind die Monatsmittelwerte.

suchungsjahren fast gleich. Die Temperatur erreicht jeweils im August Maximalwerte, während in den Wintermonaten Dezember und Januar naturgemäß die niedrigsten Werte zu verzeichnen sind. Die extremsten Werte lagen 1974 mit +35 °C (Juni) und -12 °C (Januar) vor. Nach den Angaben von ROSENBOHM (1960) entsprechen die registrierten Werte den Langzeitmessungen.

2.4.1.3 Globalstrahlung

Von November 1974 bis einschließlich Januar 1975 fiel das Globalstrahlungsmeßgerät wegen eines technischen Defektes aus, so daß für diese drei Monate keine Daten vorliegen. Wie aus der nachstehenden Tabelle Nr. 4 zu ersehen ist, war im Jahr 1974 der Juni mit 266,8 cal/cm$^2$x24h der strahlungsintensivste Monat, während im Jahr 1975 im Juli mit 259,1 cal/cm$^2$x24h die höchste Strahlung gemessen wurde.

| Jahr | Monat | Sonnenscheindauer | Globalstrahlung |
|---|---|---|---|
| | Januar | 1,4 | |
| | Februar | 2,7 | |
| | März | 3,4 | 108,0 |
| | April | 8,0 | 215,0 |
| | Mai | 6,2 | 251,0 |
| 1974 | Juni | 6,7 | 266,8 |
| | Juli | 4,7 | 141,8 |
| | August | 7,7 | 236,4 |
| | September | 4,6 | 125,2 |
| | Oktober | 1,3 | 39,3 |
| | November | 1,1 | |
| | Dezember | 0,4 | |
| | Januar | 1,4 | |
| | Februar | 5,7 | 74,5 |
| | März | 2,6 | 64,8 |
| | April | 4,2 | 68,5 |
| | Mai | 6,6 | 207,4 |
| 1975 | Juni | 6,4 | 204,0 |
| | Juli | 7,4 | 259,1 |
| | August | 9,1 | 189,0 |
| | September | 4,7 | |
| | Oktober | 4,6 | |
| | November | 2,2 | |
| | Dezember | 1,1 | |

Tabelle Nr. 4: Mittlere tägliche Sonnenscheindauer (h) und Globalstrahlung (cal/cm$^2$x 24h) in den Jahren 1974 und 1975.

Anhand der von dem Deutschen Wetterdienst, Zentralamt Offenbach - Abt. Klima, veröffentlichten Monatstabellen der Klimastation Lüdenscheid ergibt sich die ebenfalls in der Tabelle Nr. 4 dargestellte mittlere tägliche Sonnenscheindauer.*
Bei einem Vergleich der Globalstrahlung mit der mittleren täglichen Sonnenscheindauer zeigt sich zwar eine gewisse Abhängigkeit (höhere Sonnenscheindauer = Anstieg der Globalstrahlung), jedoch ist eine proportionale Beeinflussung der Globalstrahlungsintensität durch die Sonnenscheindauer auf Grund der unterschiedlichen geographischen Lage der Meßstellen (Globalstrahlung = enge Talaue; Sonnenscheindauer = Hochfläche) nicht zu erkennen.
Es errechnet sich für das Jahr 1974 im Mittel gesehen eine mittlere tägliche Sonnenscheindauer von 4,0 Stunden, bzw. 4,6 Stunden für das Jahr 1975. Verglichen mit dem 30jährigen Mittel (1931 - 1960), das bei 3,9 Stunden liegt, erweist sich die mittlere tägliche Sonnenscheindauer im Untersuchungszeitraum als nur unbedeutend erhöht, so daß man auch bei der Sonnenscheindauer von normalen Verhältnissen sprechen kann.

Zusammenfassung von Kapitel 2.4.1

Verglichen mit den langjährigen Untersuchungsdaten sind die Niederschlagsmenge, die Lufttemperatur und die mittlere tägliche Sonnenscheindauer während des Untersuchungszeitraumes als normal zu bezeichnen. Zwar fehlen zur Globalstrahlung vergleichbare längerjährige Untersuchungsreihen, die eine Interpretation der registrierten Daten zuließe, doch darf auf Grund der Sonnenscheinverhältnisse vermutet werden, daß es sich bei den Globalstrahlungsergebnissen um Normalwerte handelt.

* Herrn Studiendirektor F.GIEDINGHAGEN, Lüdenscheid, danke ich für die Übermittelung der Daten.

## 2.4.2 Abiotische Faktoren der Lenne

### 2.4.2.1 Wasserführung

Die Wasserführung der Lenne zwischen Altena und Werdohl ist durch die Struktur des Einzugsgebietes (Stauhaltungen, Talsperrenzufluß) starken Schwankungen unterworfen. So beträgt der Schwankungsbereich beispielsweise an einem Tag mit durchschnittlichem Niedrigwasserabfluß, bei dem sich ein Tagesmittelwert von 11,0 $m^3/s$ ergibt, 7,8 - 12,3 $m^3/s$. Hierbei handelt es sich durchaus nicht um einen Sonderfall.
Im Jahresmittel gesehen betrug die Wasserführung

| | |
|---|---|
| 1973 | 26,3 $m^3/s$ |
| 1974 | 47,5 $m^3/s$ |
| 1975 | 16,3 $m^3/s$ |

welche somit mit den Niederschlagsmengen eng korreliert sind. Aus der Abbildung Nr. 16 ist zu ersehen, daß erwartungsgemäß während der Monate Oktober bis Januar die Wasserführung sprunghaft anstieg. Oberhalb einer Wasserführung von 30 $m^3/s$ war eine Untersuchung der Benthalfauna nur noch unter Lebensgefahr möglich. Die höchste Wasserführung konnte im Februar 1974 verzeichnet werden, bei der die am Untersuchungspunkt "Bahndamm" zur Flußmitte reichende Stahlrohrbrücke durch die immensen Wassermassen (252 $m^3/s$) abgetrieben wurde. Im Dezember desselben Jahres stieg die Wasserführung während der Hochwasserperiode so plötzlich auf 2'9 $m^3/s$ an, daß befürchtet wurde, die Meßgeräte "Bahndamm' und "Münzwerkstatt" könnten durch das steigende Wasser beschädigt werden. Nachdem die Meßgeräte nur noch 30 Zentimeter (normal sind 2,2 bis 2,5 Meter) von der Wasseroberfläche entfernt waren, sank durch plötzlichen Kälteeinbruch die Wasserführung.

### 2.4.2.2 Wassertemperatur

Im Kapitel 2.2 ist die Arbeitsweise des Kraftwerkes dargestellt worden. Bei mittlerer Wasserführung (ca. 20 $m^3/s$) wird das aus dem Auslaufpilz austretende Kühlwasser von der im Fluß verbleibenden Wassermenge an die linke Flußseite gedrückt. Bei einer durchschnittlichen Flußbreite von 40 Metern liegt somit auf der linken Flußseite eine 10 bis 15 Meter breite Warmwasserfahne vor, die sich auf einer Länge von rund 700 Metern nahezu parallel zu einer Kaltwas-

serfahne (Breite ca. 15 m) und einem dazwischenliegenden Wasserkörper mit Mischtemperaturen hinzieht. Die in 500 Meter vom Auslaufpilz liegende Insel verzögert die Durchmischung der Wasserkörper.

Die Breite der Wasserfahnen und damit auch die Stelle der vollständigen Durchmischung der Wasserkörper ist sowohl von der Wasserführung, als auch von der Produktionsleistung des Kraftwerkes abhängig. Bei Niedrigwasser (unter 10 $m^3/s$) und Vollast des Kraftwerkes (220 MW) wird nahezu die gesamte Lenne zu Kühlzwecken benutzt, so daß die Lenne unterhalb des Kraftwerkes und damit auch der Punkt "Bauer" aufgeheizt wird. Abbildung Nr. 17 zeigt die Temperaturverteilung am Auslauf nach einer Untersuchung vom 12.6. 1975. Die Wasserführung der Lenne betrug zu diesem Zeitpunkt 7 $m^3/s$ ; die Leistung des Kraftwerkes lag bei 74,3 MW. Dadurch blieb auf der rechten Seite eine ca. 10 Meter breite Kaltwasserfahne übrig, die auch noch am Punkt "Bauer" die Temperatur von 15,4 °C aufwies. Der Mischzonenbereich war relativ schmal. Eine vertikale Temperaturschichtung konnte auf Grund der hohen Turbulenzen und der geringen Wassertiefe weder bei dieser, noch bei anderen Untersuchungen festgestellt werden.

Bei einer am 11.3. 1975 durchgeführten Temperatur-Längsmessung zwischen Elverlingsen und der Lennemündung ergaben sich bei einer Wasserführung von 16,1 $m^3/s$ folgende Werte (Tabelle Nr. 5):

| Untersuchungsstelle | Entfernung vom KW (km) | Temperatur (°C) |
|---|---|---|
| Einlauf | 0 | 7,3 |
| Auslauf | 0 | 12,9 |
| Münzwerkstatt | 2,5 | 8,7 |
| Pegel Altena | 5,0 | 8,0 |
| Einsaler Walzwerke | 10,8 | 8,0 |
| Nachrodt, Brücke | 14,2 | 8,2 |
| Hohenlimburg | 26,0 | 10,5 |
| Lennemündung | 33,5 | 10,8 |

Tabelle Nr. 5: Lennetemperaturen flußabwärts. Untersuchung vom 11.3. 1975. KW = Kraftwerk

Die Leistung des Kraftwerkes lag an diesem Tag bei 87,7 MW, so daß die Aufheizspanne schon am Punkt "Münzwerkstatt" nach einer Fließstrecke von 2,5 km nur noch 1,4 °C betrug. Nach 10 Kilometern

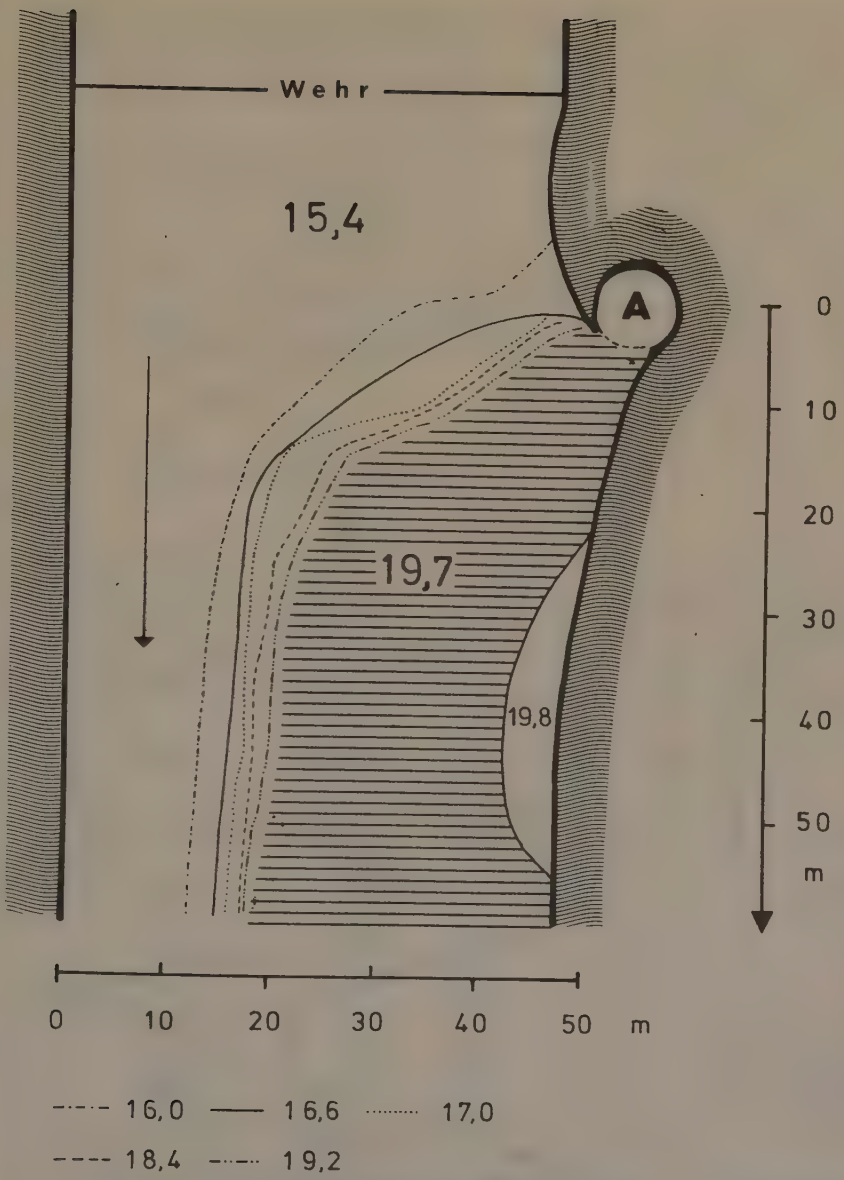



Abb. Nr. 17 Lennetemperaturen (°C) am Auslauf (A), nach einer Untersuchung vom 12. Juni 1975 ($Q = 7{,}0$ m³/sec)

lag sie noch bei 0,7 °C. Durch industrielle Kühlwässer aus dem Stadtgebiet von Hohenlimburg wird der Aufheizeffekt wieder verstärkt, sodaß zwischen Nachrodt und Lennemündung die Lennetemperatur wieder um 2,6 °C auf 10,8 °C ansteigt.
Die mittleren Monattemperaturen der Lenne an den Untersuchungsstellen "Biesenberg", "Bauer", Auslauf" und "Bahndamm" während der Jahre 1973 bis 1975 sowie am Punkt "Münzwerkstatt" für den Zeitabschnitt 4/74 bis 12/75 sind in der Tabelle Nr. 7 zusammengefasst. In diese Berechnungen gingen etwa 1500 Handmessungen ein. Fasst man alle Ergebnisse zusammen, so ergeben sich für die genannten Zeitabschnitte folgende mittlere Lennetemperaturen:

| | | |
|---|---|---|
| "Biesenberg" | = | 9,2 °C |
| "Bauer" | = | 10,0 °C |
| "Auslauf" | = | 15,7 °C |
| "Bahndamm" | = | 12,7 °C |
| "Münzwerkstatt" | = | 13,5 °C |

Danach war die Lennetemperatur am "Auslauf" rund 6,5 °C höher als am thermisch unbelasteten Punkt "Biesenberg". Die höchste Auslauftemperatur wurde im Juni 1973 mit 25,5 °C gemessen, während im Juli 1975 die Lenne am Biesenberg mit 18,3 °C ihre höchste Normaltemperatur innerhalb der drei Untersuchungsjahre hatte.

| | Untersuchungsjahr | | | |
|---|---|---|---|---|
| Monat | 1973 | 1974 | 1975 | Mittel 73 - 75 |
| Januar | 7,3 | 4,2 | 6,4 | 5,9 |
| Februar | 9,7 | 7,0 | 8,6 | 8,4 |
| März | 4,8 | 6,0 | 5,9 | 5,5 |
| April | 7,6 | 7,1 | 7,3 | 7,3 |
| Mai | 6,0 | 5,2 | 6,3 | 5,8 |
| Juni | 2,8 | 7,2 | 5,2 | 5,0 |
| Juli | 3,2 | 5,6 | 0,0 | 2,9 |
| ugust | 6,5 | 7,3 | 4,5 | 6,1 |
| September | 10,3 | 6,0 | 3,6 | 6,9 |
| Oktober | 8,7 | 7,6 | 10,9 | 9,0 |
| November | 5,6 | 7,0 | 5,2 | 5,9 |
| Dezember | 8,9 | 7,6 | 8,1 | 8,2 |

Tabelle Nr. 6: Temperaturdifferenzen zwischen den Untersuchungspunkten "Biesenberg" und "Auslauf". Angegeben sind jeweils die monatlichen Mittelwerte (°C).

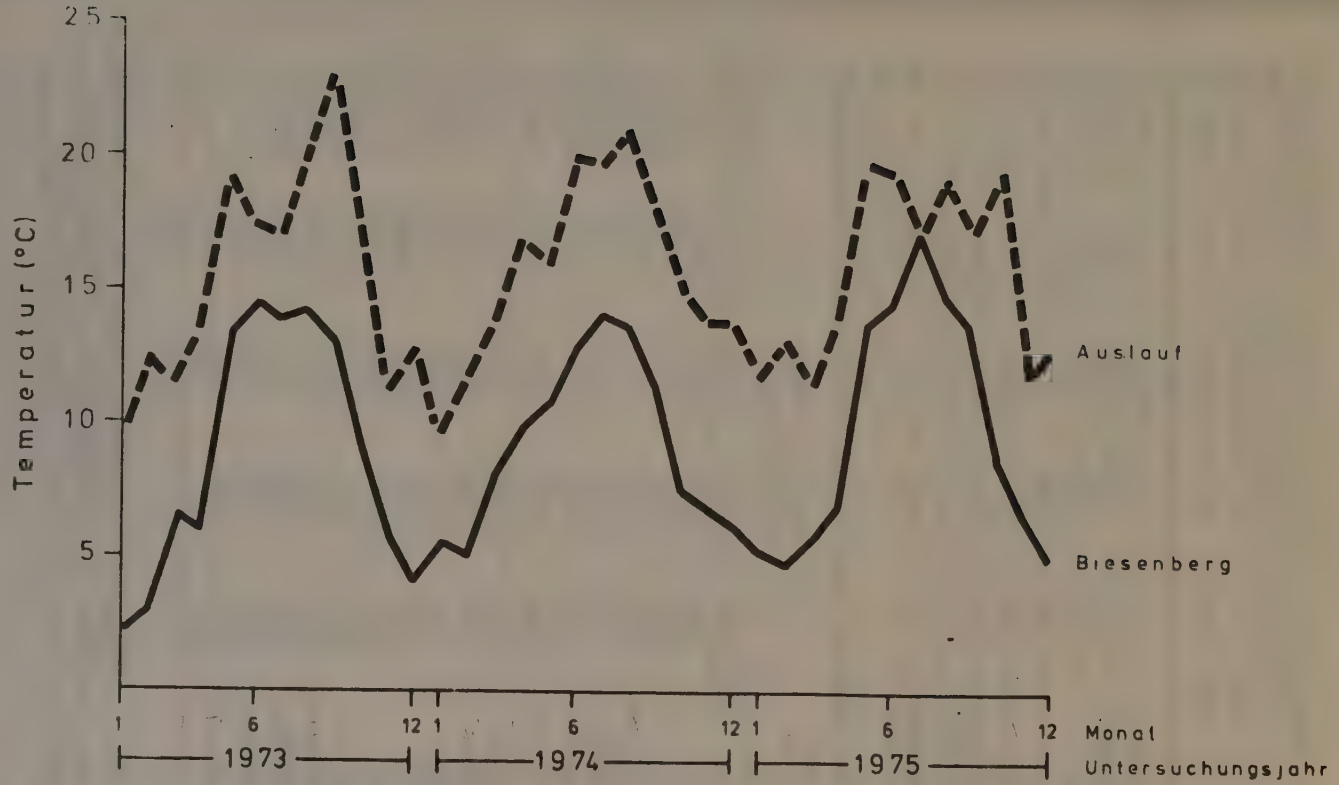



Abb Nr. 18 Lennetemperatur an zwei Untersuchungspunkten von 1973 bis 1975 (Monatsmittel)

| | | Untersuchungspunkte | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Bi | Ba | As | Bd | Mü |
| 1973 | Januar | 2,2 | 2,1 | 9,5 | 8,4 | |
| | Februar | 3,1 | 3,3 | 12,8 | 7,6 | |
| | März | 6,7 | 5,8 | 11,5 | 9,2 | |
| | April | 6,0 | 8,0 | 13,6 | 8,5 | |
| | Mai | 13,4 | 14,7 | 19,4 | 16,3 | |
| | Juni | 14,6 | 15,1 | 17,4 | 15,5 | |
| | Juli | 13,8 | 17,0 | 17,0 | - | |
| | August | 14,1 | 15,4 | 20,6 | 19,9 | |
| | September | 13,0 | 14,8 | 23,3 | 22,0 | |
| | Oktober | 9,1 | 11,3 | 17,8 | 16,0 | |
| | November | 5,7 | 6,3 | 11,3 | 7,1 | |
| | Dezember | 4,1 | 5,0 | 13,0 | 7,0 | |
| Mittelwerte 73 | | 8,6 | 9,9 | 15,6 | 12,5 | |
| 1974 | Januar | 5,5 | 5,5 | 9,7 | 6,5 | |
| | Februar | 5,0 | 5,0 | 12,0 | 11,0 | |
| | März | 8,0 | 8,0 | 14,0 | 11,0 | |
| | April | 9,9 | 13,6 | 17,0 | 13,5 | 12,3 |
| | Mai | 10,8 | 11,3 | 16,0 | 13,8 | 13,8 |
| | Juni | 12,8 | 13,0 | 20,0 | 18,5 | 19,2 |
| | Juli | 14,2 | 14,5 | 19,8 | 18,4 | 17,6 |
| | August | 13,8 | 13,4 | 21,1 | 17,0 | 18,2 |
| | September | 11,5 | 12,5 | - | 20,5 | 17,8 |
| | Oktober | 7,6 | 8,4 | 15,2 | 11,0 | 10,8 |
| | November | 6,8 | 7,6 | 13,8 | 9,4 | 8,6 |
| | Dezember | 6,2 | 6,2 | 13,8 | 7,4 | 8,4 |
| Mittelwerte 74 | | 9,3 | 9,9 | 15,7 | 13,1 | 14,1 |
| 1975 | Januar | 5,3 | 5,5 | 11,7 | 6,4 | 6,8 |
| | Februar | 4,7 | 4,0 | 13,3 | 7,0 | 6,8 |
| | März | 5,7 | 5,7 | 11,6 | 8,6 | 8,0 |
| | April | 6,8 | 8,3 | 14,1 | 8,9 | 10,5 |
| | Mai | 13,8 | 15,6 | 20,1 | 16,5 | 19,8 |
| | Juni | 14,5 | 15,3 | 19,7 | 17,5 | 16,9 |
| | Juli | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 | 17,1 |
| | August | 14,8 | 14,6 | 19,3 | 18,2 | 18,9 |
| | September | 13,7 | 15,4 | 17,3 | 15,9 | 14,6 |
| | Oktober | 8,7 | 12,3 | 19,6 | 16,4 | 17,8 |
| | November | 6,6 | 5,2 | 11,8 | 9,7 | 10,1 |
| | Dezember | 4,9 | 5,1 | 13,0 | 7,3 | 9,3 |
| Mittelwerte 75 | | 9,7 | 10,3 | 15,7 | 12,5 | 13,1 |

Tabelle Nr. 7: Mittlere Monatstemperaturen (°C) der Lenne an den Untersuchungspunkten "Biesenberg" (Bi), "Bauer" (Ba), "Auslauf" (As), "Bahndamm" (Bd) und "Münzwerkstatt" (Mü) während der Jahre 1973 bis 1975. Nach Handmessungen.

Der Punkt "Bauer" wird durch sporadische Aufheizungen während der Niedrigwasserperioden geringfügig thermisch belastet, was in der erhöhten Mitteltemperatur von 0,8 °C - bezogen auf den Untersuchungspunkt "Biesenberg" zum Ausdruck kommt. Der dem "Bauer" gegenüberliegende "Bahndamm" weist auf Grund seiner Lage in der Warmwasserfahne eine mittlere Temperatur von 12,7 °C auf (Erhöhung = 3,5 °C). Im Staubereich des Punktes "Münzwerkstatt" ist für den Zeitraum 4/74 - 12/75 immerhin noch eine mittlere Temperaturerhöhung von 3,5 °C gegenüber dem "Biesenberg" meßbar. Tabelle Nr. 6 zeigt die monatlichen Temperaturdifferenzen zwischen den Punkten "Biesenberg" und "Auslauf". Bemerkenswert ist hierbei, daß die größten Temperaturdifferenzen zwischen den Monaten Oktober und Februar auftraten, währenddessen die Aufheizungen im Juni und Juli relativ gering waren.
Die Aufheizung der Lenne ist naturgemäß an den Arbeitsrhythmus des

| | | Lennetemperatur | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Datum | Heizdauer | Anfang- | Maximal- | End- | max. Differenz |
| 1.7. | 15 | 13,9 | 21,5 | 15,1 | 7,6 |
| 4.7. | 17 | 15,0 | 21,0 | 15,0 | 6,0 |
| 5.7. | 17 | 14,3 | 21,1 | 16,0 | 6,8 |
| 9.7. | 17 | 15,1 | 21,1 | 15,3 | 6,0 |
| 10.7. | 17 | 15,2 | 21,8 | 16,7 | 6,6 |
| 13.7. | 21 | 17,1 | 22,5 | 14,7 | 5,4 |
| 15.7. | 15 | 13,9 | 22,5 | 17,7 | 8,6 |
| 16.7. | 13 | 17,0 | 23,0 | 18,2 | 6,0 |
| 18.7. | 15 | 14,8 | 22,8 | 14,4 | 8,0 |
| 19.7. | 17 | 13,9 | 21,8 | 14,0 | 7,9 |
| 22.7. | 18 | 13,7 | 23,3 | 15,9 | 9,6 |
| 23.7. | 17 | 15,3 | 24,1 | 15,0 | 8,8 |
| 24.7. | 18 | 14,8 | 24,9 | 14,6 | 10,1 |
| 26.7. | 16 | 13,3 | 21,8 | 13,3 | 8,5 |
| 29.7. | 15 | 14,7 | 24,9 | 16,0 | 10,2 |
| 30.7. | 14 | 16,1 | 22,9 | 17,0 | 6,8 |
| 1.8. | 14 | 16,7 | 24,5 | 17,4 | 7,8 |
| 6.8. | 5 | 15,0 | 24,5 | 15,3 | 9,5 |
| 7.8. | 19 | 15,1 | 22,0 | 16,4 | 6,9 |
| 8.8. | 15 | 16,4 | 22,0 | 16,0 | 5,6 |
| 19.8. | 13,5 | 10,8 | 16,0 | 10,6 | 5,2 |
| 20.8. | 13,5 | 10,0 | 16,2 | 10,0 | 6,2 |
| 21.8. | 12 | 10,5 | 16,0 | 10,5 | 5,5 |
| 25.8. | 1,5 | 11,0 | 16,0 | 11,0 | 5,0 |
| | 1,5 | 11,0 | 16,0 | 11,0 | 5,0 |
| 9.9. | 2 | 12,5 | 21,6 | 17,8 | 9,1 |
| 22.9. | 2 | 20,0 | 24,0 | 20,0 | 4,0 |

Tabelle Nr. 8: Temperaturschocks am Untersuchungspunkt"Bahndamm". Berücksichtigt wurden Schocks über 2,0 °C; Zeitraum 1.6. - 31.12. 1974. Heizdauer in Stunden; Temperatur in °C.

| Datum | Heizdauer | Lennetemperatur Anfang- | Maximal- | End- | max. Differenz |
|---|---|---|---|---|---|
| 27.6. | 3 | 14,1 | 22,3 | 14,0 | 8,2 |
| 28.6. | 3 | 12,8 | 19,0 | 12,7 | 6,2 |
| 18.7. | 3 | 13,8 | 19,5 | 14,4 | 5,7 |
| 23.7. | 3 | 14,4 | 18,7 | 15,0 | 4,3 |
| 28.7. | 3,5 | 15,2 | 20,4 | 15,3 | 5,2 |
| 29.8. | 6 | 14,3 | 18,3 | 13,2 | 4,0 |
| 2.9. | 5 | 12,4 | 18,2 | 14,1 | 5,8 |
| 3.9. | 2 | 13,5 | 18,1 | 13,1 | 4,6 |
| 6.9. | 5 | 13,3 | 17,5 | 14,1 | 4,2 |
| 9.9. | 4 | 11,9 | 17,2 | 13,0 | 5,3 |
| 10.9. | 4 | 12,2 | 19,1 | 14,6 | 7,0 |
| 12.9. | 2 | 13,0 | 16,7 | 12,0 | 3,7 |
| | 4 | 12,2 | 21,5 | 14,3 | 9,3 |
| | 3 | 14,3 | 20,0 | 13,4 | 5,7 |
| 13.9. | 3 | 13,9 | 18,5 | 13,3 | 4,6 |
| | 2,5 | 12,5 | 19,0 | 12,8 | 6,5 |
| 16.9. | 3 | 13,9 | 18,1 | 13,5 | 4,2 |
| | 4,5 | 11,6 | 19,8 | 12,8 | 8,2 |
| 17.9. | 3 | 14,5 | 20,5 | 15,2 | 6,0 |
| 18.9. | 3 | 14,8 | 18,2 | 14,0 | 3,4 |
| | 4 | 14,0 | 20,2 | 14,2 | 6,2 |
| 19.9. | 8 | 14,2 | 18,5 | 13,5 | 4,3 |
| | 5 | 12,5 | 19,5 | 14,2 | 7,0 |
| 2o.9. | 3,5 | 11,5 | 18,9 | 12,3 | 7,4 |
| 21.9. | 4,5 | 12,0 | 21,6 | 12,9 | 9,6 |
| | 3,5 | 12,9 | 17,6 | 12,0 | 4,7 |
| 23.9. | 5 | 11,0 | 19,0 | 11,0 | 8,0 |

Tabelle Nr. 9: Temperaturschocks am Untersuchungspunkt "Bauer". Berücksichtigt wurden Schocks über 2,0 °C; Zeitraum 1.6. - 30.11. 1974. Heizdauer in Stunden; Temperatur in °C

Kraftwerkes gebunden, sodaß es an den Untersuchungspunkten "Auslauf", "Bahndamm", "Münzwerkstatt" sowie gegebenenfalls am Punkt "Bauer" im Laufes eines Tages zu einer Aufheizungs- und Abkühlungsphase kommt. In der Tabelle Nr. 8 sind als Beispiel die Temperaturschocks am Untersuchungspunkt "Bahndamm" nach den Daten des Meßgerätes zusammengefasst. Berücksichtigt wurden Temperaturschocks von mehr als 2,0 °C in der Zeit vom 1.6. bis 30.11. 1974. Die mittlere Aufheizdauer lag bei 12,6 Stunden; die mittlere Temperaturerhöhung (Anfangstemperatur - Maximaltemperatur) bei 7,2 °C. Dagegen betrug die Aufheizdauer am gegenüberliegenden Punkt "Bauer" der nur bei Niedrigwasser und maximaler Leistung des Kraftwerkes thermisch belastet wurde, im Mittel 3,9 Stunden. Die mittlere Temperaturerhöhung lag bei 5,9 °C, wie aus der Tabelle Nr. 9 zu ersehen ist.

Über die Häufigkeiten, Dauer und Höhen der Temperaturschocks an den Punkten "Bahndamm" und "Münzwerkstatt" geben die Tabellen Anhang Nr. I - III Aufschluß. Zugrunde lagen diesen Berechnungen, die am Rechenzentrum der Ruhr Universität in Bochum durchgeführt wurden, die Aufzeichnungen der Meßgeräte von Juli 1974 bis Juni 1975. Als Normaltemperatur wurde die Lennetemperatur am "Einlauf" angesehen, da die Meßdaten am "Biesenberg" wegen wiederholten Ausfalles des Gerätes nur in einem beschränkten Maße zur Verfügung standen.
Die meisten Temperaturdifferenzen (41%) zwischen "Einlauf" und "Bahndamm" waren nach Tabelle Anhang Nr. I kleiner als o,5 °C. Im Mittel betrugen die Differenzen jedoch 2,36 °C (Standartabweichung 2,67 °C), sodaß genau 95,8 % aller Differenzen (= Temperaturschocks) kleiner als 8,0 °C waren. Kurzfristige Aufheizungen bis sogar über 13 °C sind zwar für den Statistiker sowohl auf Grund der geringen Häufigkeit (1 x) , als auch der kurzen Zeitdauer (15 Minuten) nicht relevant, können jedoch für die Biozönose unter Umständen verheerende Folgen haben.
Die Beziehung zwischen der Differenzdauer und der Höhe dieser Temperaturdifferenzen wird für die Punkte "Einlauf" und "Bahndamm" in der Tabelle Anhang Nr. II dargestellt: je kleiner die Temperaturerhöhung, um so größer ist deren Dauer. Für 12,554 % des Untersuchungszeitraumes, in dem Temperaturdifferenzen vorlagen, wurden Unterschiede registriert, welche kleiner als 0,5 °C waren und 16 Stunden andauerten. Dagegen schlägt die Zeitdauer kurzfristiger Temperaturschocks von 13,0 - 13,5 °C mit nur 0,005 % des Gesamtzeitraumes zu Buche.
Verkleinert hat sich der Mittelwert der Temperaturdifferenzen zwischen "Einlauf" und "Münzwerkstatt" (Tab. Anhang III): Betrug er für "Einlauf" - "Bahndamm" 2,36 °C, so lag er hier bei 1,88 °C (Standartabweichung 2,10 °C). Über die Hälfte der registrierten Temperaturdifferenzen war kleiner als 1,0 °C; 95,1 °C kleiner als 6,5 °C. Die größte Temperaturdifferenzen zwischen diesen beiden Untersuchungsstellen lag zwischen 10,5 und 11,0 °C.

2.4.2.3 Strömungsgeschwindigkeit

Im Lenneuntersuchungsgebiet kommen neben den natürlichen Fließstrecken auch drei Staubereiche vor. Zwei Staue befinden sich in Höhe des Kraftwerkes, während ein dritter am Punkt "Münzwerkstatt" vorliegt. Ein weiterer Stau in Höhe des Altenaer Wasserwerkes ist seit längerer Zeit defekt. Diese Flußzonen unterscheiden sich von

den natürlichen Fließstrecken u.a. durch ihre geringe Strömungsgeschwindigkeit. Im Prinzip kann man von d e r Strömungsgeschwindigkeit garnicht sprechen, da sie sich gerade in einem kleinstrukturierten Flußbett von Zentimeter zu Zentimeter ändert. Innerhalb dieser Untersuchung wurde bei der Wahl der Untersuchungspunkte auf eine annähernd gleiche Strömungsgeschwindigkeit geachtet. Die Strömungsgeschwindigkeit gehört neben der Wassertemperatur zu den beiden Generalfaktoren (ILLIES 1961), die bei der Benthalbesiedlung ausschlaggebend sind.
Tabelle Nr. 10 zeigt als Beispiel die Strömungsgeschwindigkeit der Lenne an fünf verschiedenen Meßstellen bei einer Wasserführung von 19,2 $m^3/s$.

| Untersuchungspunkt | Gewässertiefe (m) | Meßtiefe (m) | Geschwindigkeit (m/s) |
|---|---|---|---|
| "Biesenberg" | 0,3 | 0,2 | 0,75 |
| "Auslauf" | 0,3 | 0,2 | 0,80 |
| "Bauer" | 0,4 | 0,2 | 0,71 |
| "Bahndamm" | 0,4 | 0,2 | 0,68 |
| "Münzwerkstatt" | 1,0 | 0,05 | 0,19 |
| | | 0,50 | 0,19 |

Tabelle Nr. 10: Strömungsgeschwindigkeiten an verschiedenen Untersuchungstellen. Aufgenommen am 15.7. 1974

Danach ist die Strömungsgeschwindigkeit an den ersten vier Stellen, an denen biologische Untersuchungen durchgeführt wurden, nahezu gleich. Naturgemäß ist sie im Staubereich "Münzwerkstatt" vergleichsweise gering. In Flußmitte wurde in 5 und fünfzig Zentimeter Wassertiefe eine Geschwindigkeit von nur 0,19 m/s gemessen. Neben diesen Einzelmessungen ist die Strömungsgeschwindigkeitbei den Driftuntersuchungen ermittelt und der Standort der Fallen bei Differenzen entsprechend korrigiert worden.

2.4.2.4 Chemische Parameter

Umfangreiche Untersuchungen zum Chemismus der Lenne durch Mitarbeiter des Ruhrverbandes in Essen haben ergeben, daß eine signifikante Beeinflussung des chemischen Zustandsbildes der Lenne (besonders des Sauerstoffhaushaltes) durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen nicht vorliegt. Im Anhang sind in den Tabellen IV und V die Ergebnisse der wichtigsten chemischen Untersuch-

ungen angeführt, die mir der Ruhrverband freundlicherweise zur Verfügung gestellt hat.

Zusammenfassung von Kapitel 2.4.2

1. Die Wasserführung der Lenne lag 1973 und 1974 mit 26,3 bzw. 47,5 $m^3/s$ über dem langjährigen Mittel von ca. 20 $m^3/s$, während im vergangenen Jahr die Wasserführung mit 16,3 $m^3/s$ deutlich unter der der Vorjahre lag.
2. Zwischen 1973 und 1975 betrug die mittlere Lennetemperatur am thermisch unbeeinflussten Punkt "Biesenberg" 9,2 °C, am Punkt "Bauer" 10,0 °C, am "Auslauf" 15,7 °C und am Punkt "Bahndamm" 12,7 °C. Die höchsten Aufheizspannen wurden während der Wintermonate erreicht. Als maximale Auslauftemperatur wurde 25,5 °C registriert, während die höchste Normaltemperatur am "Biesenberg" 18,3 °C betrug. Durch die Arbeitsweise des Kraftwerkes kam es täglich zu Aufheizungs- und Abkühlungsschocks, die am Punkt "Bahndamm" eine Zeitdauer von 20 bis 30 Minuten in Anspruch nahmen. Der Punkt "Bauer" wurde nur bei Niedrigwasser und Vollast des Kraftwerkes sporadisch thermisch belastet.
3. Die Strömungsgeschwindigkeit lag an den vier Stellen, an denen die meisten biologischen Versuchsreihen durchgeführt wurden, zwischen 0,68 und 0,80 m/s (Wasserführung 19,2 $m^3/s$).
4. Eine signifikante Beeinflussung des Sauerstoffhaushaltes sowie des übrigen Chemismus der Lenne durch die Abwärme des Kraftwerkes konnte bei umfangreichen Untersuchungen nicht festgestellt werden. Die Ursache hierfür liegt in der als gering zu bezeichnenden organischen Belastung der Lenne.

## 2.4.3 Biologische Faktoren

### 2.4.3.1 Allgemeine Beschreibung der Flora und Fauna der Lenne im Untersuchungsgebiet

Auf Grund der oben aufgeführten Faunenaufnahmen, Periphyton-, Plankton-, Drift- und Lichtfallenuntersuchungen konnten bislang im Untersuchungsgebiet folgende Glieder der Phytozönose und der Zoozönose festgestellt werden. Die angegebene Artenliste ist bezüglich der verschiedenen abiotischen Faktoren als wertfrei zu verstehen. Sie dient lediglich als Grundlage einer allgemeinen Biozönosebeurteilung.
Angesichts der methodischen Schwierigkeiten und der Determinationsprobleme kann selbstverständlich kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben werden.

Phytozönose (Systematische Anordnung nach MÄGDEFRAU, in STRASBURGER, 1967)

| | |
|---|---|
| Schizophyta | |
| Cyanophyceae | Oscillatoria spec. |
| Phycophyta | |
| Euglenophyceae | Euglena viridis EHR. |
| Pyrrhophyceae | Cryptomonas erosa EHR. |
| | Cryptomonas ovata EHR. |
| | Rhodomonas minuta KARSTEN |
| Chrysophyceae | Achnantes lanceolata BREB. |
| | Asteronella formosa HASSAL |
| | Cyclotella spec. |
| | Cymbella ventricosa KÜTZ. |
| | Diatoma elongatum AG. |
| | Fragilaria spec. |
| | Kephyrion ovale PASCHER |
| | Melosira italica KÜTZ. |
| | Melosira varians AG. |
| | Meridion circulare AG. |
| | Navicula spec. |
| | Nitschia avicularis SMITH |
| | Nitschia linearis SMITH |
| | Nitschia palea SMITH |
| | Pinnularia mesolepta SMITH |

| | |
|---|---|
| | Stephanodyscus astraea GRUN. |
| | Surirella linearis SMITH |
| | Surirella ovata KÜTZ. |
| | Synedra acus KÜTZ. |
| | Synedra ulna EHR. |
| Chlorophyceae | Actinastrum hantzschi LAGERH. |
| | Ankistrodesmus angustus BERN. |
| | Ankistrodesmus falcatus RALFS |
| | Ankistrodesmus gelifacatum |
| | Chlamydomonas spec. |
| | Chlorella spec. |
| | Cladophora spec. |
| | Closterium acerosum EHR. |
| | Coccomonas spec. |
| | Coelastrum microporum NAEG. |
| | Cosmarium botrytis MENEGH. |
| | Haematococcus spec. |
| | Kirchneriella spec. |
| | Koliella longiseta HEGEW. |
| | Microspora amoena RABENH. |
| | Pediastrum boryanum MENEGH. |
| | Scenedesmus acuminatus CHOD. |
| | Scenedesmus acutus MEYEN |
| | Scenedesmus costato-granulatus SKUJA |
| | Scenedesmus quadricauda BRÉB. |
| | Stigeoclonium tenue KÜTZ. |
| | Tetraedron caudatum HANSG. |
| | Tetrastrum stanrogeniaeforme LEMM. |
| Bryophyta | |
| Musci | Fontinalis antipyretica L. |
| Spermatophyta | |
| Dicotyledoneae | Ranunculus flúitans LAM. |

Zoozönose (Systematische Anordnung nach WURMBACH 1968)

| | |
|---|---|
| Flagellata | Anthophysa vegetans |

| | |
|---|---|
| Ciliata | Aspidisca costata L. |
| | Aspidisca lynceus EHR. |
| | Campanella umbellaria L. |
| | Carchesium polypinum L. |
| | Chilodonella cucullulus O.F. MULLER |
| | Chilodonella unicata EHR. |
| | Litonotus lamella SCHEW. |
| | Ophrydium crassicaule PENARD |
| | Platycola truncata FROMENTEL |
| | Stylonychia mytilus EHR. |
| | Tachysoma pellionella STEIN |
| | Thuricola folliculata O.F. MULLER |
| | Trachelius ovum EHR. |
| | Vaginicola tincta EHR. |
| | Vorticella campanula EHR. |
| | Vorticella convallaria NOLAND |
| | Vorticella octava STOKES |
| Plathelminthes | Polycelis nigra EHR. |
| | Stenostomum spec. |
| Rotatoria | Colurella unicata bicuspidata EHR. |
| | Cephalodella gibba EHR. |
| Annelida | Aelosoma spec. |
| | Chaetogaster spec. |
| | Glossiphonia complanata L. |
| | Haemopis sanguisuga L. |
| | Herpobdella octoculata L. |
| | Limnodrilus spec. |
| Arthropoda | |
| Crustacea | Astacus astacus L. |
| Ephemeroptera | Baetis rhodani PICT. |
| | Baetis vernus CURT. |
| | Epeorus sylvicola PICT. |
| | Ephemerella ignita PODA |
| Odonata | Agrion splendens HARRIS |

| | |
|---|---|
| Plecoptera | Nemoura spec. |
| | Nemurella picteti KLAP |
| | Dinocras cephalotes CURT. |
| Coleoptera | Agabus spec. |
| | Brychius elevatus PANZ. |
| | Haliplus confinis STEPH. |
| | Potomonectes depressus F. |
| | Stictotarsus duodecimpustulatus F. |
| Megaloptera | Sialis lutaria L. |
| Diptera | Tipula lateralis L. |
| | Chironomidae |
| | Ceratopogonidae |
| Trichoptera | Anabolia nervosa LEACH. |
| | Hydropsyche pellucidula CURT. |
| | Limnophilus rhombicus L. |
| | Limnophilus sparsus CURT. |
| | Polycentropus flavomaculatus PICT. |
| | Phryganea striata L. |
| | Rhyacophila nubila ZETT. |
| | Stenophylax permistus Mc.LACH. |
| Heteroptera | Nepa rubra L. |
| | |
| Mollusca | |
| Gastropoda | Radix balthica f. ovata DRAP. |
| Lamellibranchiata | Pisidium spec. |
| | |
| Chordata | |
| Pisces | Anguilla anguilla L. |
| | Cyprinus carpio L. |
| | Esox lucius L. |
| | Gasterosteus aculeatus L. |
| | Leuciscus cephalus L. |
| | Phoxinus phoxinus L. |
| | Rutilus rutilus L. |
| | Salmo gairdneri RICH. |
| | Salmo trutta f. fario L. |
| Aves | Alcedo atthis ispida L. |
| | Cindus cindus L. |
| | Motacilla flava L. |
| | Motacilla alba L. |

Anas platyrhynchos L.
Fulica atra L.
Gallinula chloropus L.

Mammalia — Ondatra zibethicus L.

Nach dem Zonierungsschema der Fließgewässer von ILLIES (1961) befinden wir uns im Lenneuntersuchungsgebiet im Meta- bis Hyporhithron (Mittel- bis Unterlauf der Salmonidenregion), während die hier in die Lenne einmündenden Bergbäche durchweg dem Epirhithron (Oberlauf der Forellenregion) zuzuordnen sind.
An wichtigen Gewässern ist im Untersuchungsgebiet nur noch der Biesenberger Bach als typischer Mittelgebirgsbach zu nennen, der kurz unterhalb vom Untersuchungspunkt "Biesenberg" rechtsseitig in die Lenne entwässert und reich an kaltstenöken Arten, wie z.B. Polycelis nigra, Planaria gonocephala, Epeorus sylvicola und Dinocras cephalotes ist. Die Rückbesiedlung der Lenne, deren Zustand sich seit Ende der sechziger Jahre erheblich gebessert hat, geht größtenteils von den einmündenden Gewässern aus, sei es durch Drift oder durch Eiablage der Imagines. Denn neben der niedrigen Wassertemperatur (siehe Abb. Nr.19) während der Sommermonate sind in der Lenne eine hohe Strömungsgeschwindigkeit und ein relativ hoher Sauerstoffgehalt zu verzeichnen. Diese drei Faktoren stellen für das Vorkommen von stenöken Arten der Mittelgebirgsbäche die Hauptbedingungen dar. Angemerkt sei an dieser Stelle, daß die Epeorus- und Dinocras-Larven, die bei den Laborversuchen verwendet wurden, aus dem Biesenberger Bach stammten.
Desweiteren gibt es in unmittelbarer Nähe der Lenne noch zwei stehende Gewässer: erstens den "Dreseler Teich", der sich rechts neben der Lenne in Höhe der Ortschaft Dresel befindet, und vom Grundwasser und einem kleinen Bergbach gespeist wird. Dieser von einer typischen Auenwaldvegetation umgrenzte Biotop wurde allerdings in den letzten Jahren durch umfangreiche Erschließungsmaßnahmen stark in Mitleidenschaft gezogen.
Bedeutsam ist zweitens das im Naturschutzgebiet "An der Nordhelle" unterhalb des Kraftwerkes linksseitig gelegene Bruchwaldgewässer. Dieses ehemalige Lennealtwasser wird von drei kleinen Bergbächen gespeist und ist als Biotop durch das Vorkommen von Festuca silvatica POLL. (Wald-Schwingel), Lunaria rediviva L. (Wildes Silberblatt) und Matteuca struthiopteris TOD. (Deutscher

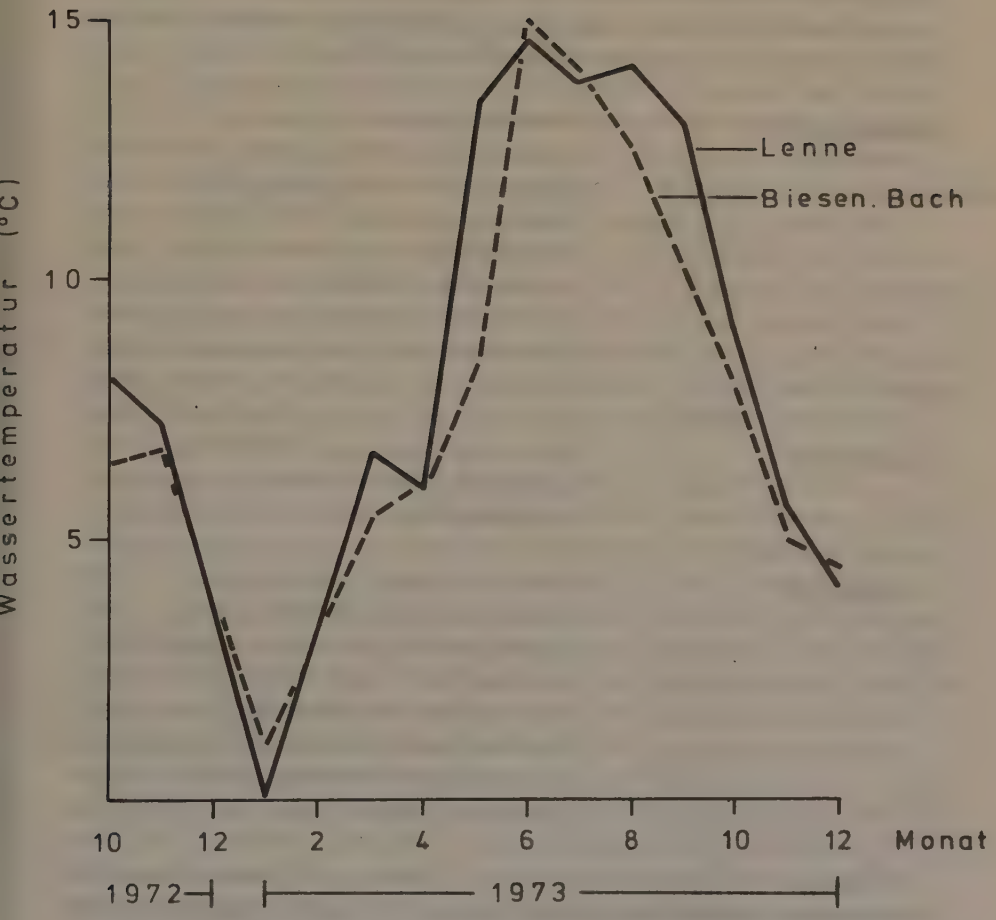



Abb. Nr. 19 Temperaturen der Lenne und des Biesenberger Baches

Straußfarn) auch in botanischer Hinsicht im näheren Sauerland bemerkenswert (ANT, ENGELKE 1970).
Nachfolgend sind die Ephemeropteren, Plecopteren und Trichopteren angeführt, die in den oben genannten Gewässern vorkommen und die möglicherweise als zönoseverwandte Arten, Vicini oder Alieni in der Lenne anzutreffen sind. Die Determination wurde an Imagines vorgenommen (Dreseler Teich = D.T.; Bruchwaldgewässer im NSG "An der Nordhelle = NSG; Biesenberger Bach = B.B.):

| | |
|---|---|
| Ephemeroptera | Cloeon dipterum L.; D.T. |
| | Cloeon rufulum MÜLL.; D.T. |
| | Ecdyonurus venosus FABR.; B.B. |
| | Epeorus sylvicola PICT.; B.B. |
| | Ephemerella ignita PODA; B.B. |
| | Ephemerella notata ETN.; B.B. |
| | Leptophlebia vespertina L.; D.T. |
| | Paraleptophlebia submarginata STEPH.; D.T. |
| | Rhithrogena semicolorata PICT.; B.B. |
| Plecoptera | Dinocras cephalotes CURT.; B.B. |
| | Nemurella picteti KLAP.; D.T., NSG |
| | Protonemura praecox MORT.; B.B. |
| Trichoptera | Anabolia nervosa LEACH.; D.T. |
| | Drusus annulatus STEPH.; D.T. |
| | Glyphotaelius pellucidus RETZ.; D.T. |
| | Halesus radiatus CURT.; D.T. |
| | Limnophlius rhombicus L.; D.T., NSG |
| | Philopotamus ludificatus Mc.LACH.; B.B. |
| | Plectrocnemia conspersa CURT.; B.B. |
| | Potamophylax latipennis L.; D.T., NSG |

Zusammenfassend ist zu sagen, daß die Arten der Benthalfauna, die bei dieser Untersuchung im Vordergrund stand, im Untersuchungsgebiet charakteristisch für Mittelgebirgsflüsse und teilweise auch von anderen Autoren (DITTMAR 1953,1955; FEY u. MERTSCHENk i.Dr.; THIENEMANN 1912 a/b) in Sauerlandgewässern nachgewiesen wurden. Bemerkenswert und für diesen Lenneabschnitt unvermutet ist das Vorkommen von Astacus astacus L. , der zweimal von Arbeitern der VDM - Werke am Punkt "Münzwerkstatt" nachgewiesen wurde. Bekannt war bislang nur das Vorkommen von A. astacus im Oberlauf der Lenne

sowie in der Lister- und Östertalsperre (GRÜNWALD 1976).

2.4.3.2 Saprobität oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes

In jedem Biotop führt eine Veränderung der abiotischen Faktoren im Laufe der Zeit zu einer mehr oder weniger tiefgreifenden Umgestaltung der Biozönose. Auf diese Umgestaltung weist THIENEMANN 1956 in seinem zweiten biozönotischen Grundprinzip hin: " Je mehr sich die Lebensbedingungen eines Biotops vom Normalen und für die meisten Organismen Optimalen entfernen, um so artenärmer wird die Biozönose, um so charakteristischer wird sie, in um so größerem Individuenreichtum treten die Arten auf (S.44)" (zit.n.SCHWERDTFEGER75)
Da sich die Biozönose an die Lebensbedingungen im Biotop angepasst hat, stellt der biologische Befund ein Integral der vorausgegangenen Umwelteinflüsse dar (NUSCH 1975), wobei in der größeren Trägheit des biologischen Systems der Vorteil der biologischen Analyse gegenüber der chemischen Wasseranalyse liegt, die auf eine große Anzahl von Stichproben angewiesen ist, um die Beschaffenheit eines Gewässerabschnitts zu kennzeichnen (ROTHSTEIN 1972, zit. nach UHLMANN 1975).
In diesem und den folgenden Kapiteln werden mit den bei den biologischen Untersuchungen gewonnenen Daten Unterschiede in der Struktur der Biozönose oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes dargestellt. Während mit dem Artenfehlbetrag, der Abundanz, Dominanz , Artenkoordination und der Diversität speziell Strukturveränderungen in der Benthalzoozönose erfasst werden sollen, wird hier der Frage nachgegangen, ob sich anhand der Organismengesellschaften eine durch die erhöhte Wassertemperatur bedingte Veränderung der Saprobität (Summe aller der Primärproduktion gegenüberstehenden Umsatzprozesse, CASPERS und KARBE 1967) erkennen lässt.
In Anlehnung an die Methoden von DITTMAR (1959), ZELINKA und MARVAN (1961) und SLADECEK (1972) wurde der Saprobienindex, und nach den Deutschen Einheitsverfahren M 7 ergänzend hierzu die biologisch wirksame organische Belastung für ausgewählte Untersuchungspunkte bestimmt. Die Berechnungen hierzu sind in den Tabellen Anhang VI - IX dargestellt.

Hierin bedeuten
o = oligosaprob
ß = ß-mesosaprob
α = α- mesosaprob
p = polysaprob

Bei den Angaben zur relativen Häufigkeit entspricht

1 = einzeln
2 = selten
3 = mehrfach
5 = häufig
6 = sehr häufig
7 = massenhaft

Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind vergleichend in der nachstehenden Tabelle Nr. 11 zusammengefaßt.

| | Fließbereich "Biesenberg" | "Auslauf" | Staubereich "Einlauf" | "Münzwerkstatt" |
|---|---|---|---|---|
| Wassertemperatur | normal | erhöht | normal | erhöht |
| Saprobienindex | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,4 |
| wirk.org.Belast. | 30,9 | 37,9 | 47,8 | 46,5 |

Tabelle Nr. 11: Saprobienindex und biologisch wirksame organische Belastung an vier Untersuchungspunkten mit unterschiedlicher Temperatur und Strömungsgeschwindigkeit

Der Saprobienindex und die wirksame organische Belastung sind zwischen den im Fließbereich liegenden Punkten "Biesenberg" und "Auslauf" nahezu gleich. Entsprechendes gilt für die beiden Staubereiche, dem thermisch unbeeinflussten "Einlauf" und dem erwärmten Stau "Münzwerkstatt". Nach den Ergebnissen ist die Lenne im untersuchten Bereich ß-mesosaprob (mäßig verunreinigt). Die geringfügige Erhöhung der Saprobienindices und der biologisch wirksamen organischen Belastung in den Staubereichen sind in der geringen Strömungsgeschwindigkeit zu suchen, wodurch es zu einer stärkeren Schlammablagerung kommt, als es in den Fließbereichen der Fall ist.
Eine Beeinflussung der Saprobität durch die Abwärme des Kraftwerkes liegt auf Grund der oben angeführten Untersuchungen nicht vor.

2.4.3.3 Artenfehlbetrag und Artenidentität

Im Hinblick auf die zweite THIENEMANNsche Regel (THIENEMANN 1939) - nach der jede Entfernung der Lebensbedingungen eines Biotops vom Normalszustand mit einem zahlenmäßigen Rückgang des ihm zugehörigen Artenbestandes verbunden ist - bietet sich die Artendichte, bzw. der Artenfehlbetrag als Meßzahl für die Verarmung des Artenbildes an (KOTHÉ 1962). In die Berechnung des Artenfehlbetrages gehen, wie SCHWOERBEL 1966 richtig feststellt, alle Pflanzen- und Tierarten ein, "ohne das ihre Zuordung zu bestimmten Verunreinigungsstufen erforderlich wäre (S.165)".

Der Artenfehlbetrag wurde nach der Formel von KOTHÉ (1962)

$$F = \frac{A_1 - A_x}{A_1} \times 100$$

berechnet, in welcher mit $A_1$ (Artenstandard) die Artenzahl am thermisch unbelasteten Punkt "Biesenberg" gemeint ist und $A_x$ die Anzahl der Arten am jeweiligen Untersuchungspunkt "Bauer", "Auslauf" oder "Bahndamm" darstellt. Der Artenfehlbetrag ist somit letztlich nichts anderes, als die Differenz der Artenzahl zwischen einem unbelasteten und belasteten Untersuchungspunkt, wobei die Artenzahl am unbelasteten Punkt gleich 100 % gesetzt wird.

In die Berechnungen gehen die Ergebnisse der monatlichen Aufnahmen zur Makroevertebratenfauna während der Jahre 1974 und 1975 ein. Betrachtet man die Tabelle Nr. 12, so ergibt sich am Punkt "Bauer", der bei Kraftwerksbetrieb nur zu besonderen Zeiten (s.o.) thermisch belastet ist, ein Artenfehlbetrag von 45 %, am gegenüberliegenden "Bahndamm" ein Fehlbetrag von 55 %, während am "Auslauf" der höchste Artenfehlbetrag von 65 % vorliegt.

Der mögliche Einwand, durch die Filteranlagen im Kraftwerk sei eine Artenauslese an den Punkten "Auslauf" und "Bahndamm" bedingt, ist zu widerlegen, denn einerseits arbeitete das Kraftwerk hauptsächlich während der Tagesstunden, wodurch diese Untersuchungsstellen innerhalb der normalen Nachtdrift besiedelt werden konnten. Andererseits legten die aquatischen Fluginsekten ebenso wie am "Biesenberg" auch ihre Eier an den beiden thermisch belasteten Punkten "Auslauf" und "Bahndamm" ab. Ausserdem können z.B. die Larven des ersten Stadiums von Hydropsyche die Anlagen ungehindert passieren und somit den Untersuchungsraum "Auslauf" besiedeln.

| Tierart, bzw. Gattung | Untersuchungspunkte Bs | Ba | As | Bd |
|---|---|---|---|---|
| Polycelis nigra | x | x | | |
| Glossiphonia complanata | x | | | |
| Herpobdella octoculata | x | x | x | x |
| Baetis spec. | x | x | x | x |
| Ephemerella ignita | | x | | x |
| Epeorus sylvicola | x | x | | x |
| Dinocras cephalotes | x | | | |
| Chloroperla spec. | x | | | |
| Isoperla spec. | x | | | |
| Nemoura spec. | x | | x | |
| Protonemura spec. | x | x | | |
| Nemurella picteti | x | | | |
| Nepa rubra | x | | | |
| Sialis lutaria | x | x | | x |
| Hydropsyche pellucidula | x | x | x | x |
| Polycentropus flavomaculatus | x | x | x | x |
| Rhyacophila nubila | | | | x |
| Limnophilus spec. | x | x | x | x |
| Anabolia nervosa | x | | | |
| Tipula lateralis | x | x | x | |
| Agrion splendens | x | | | |
| Radix balthica | x | | | |
| Artenfehlbetrag (%) | | 45 | 65 | 55 |

Tabelle Nr. 12: Der Artenfehlbetrag an den Untersuchungspunkten "Bauer", "Auslauf" und "Bahndamm"; berechnet nach KOTHÉ 1962.

Inwieweit die Artenlisten an den einzelnen Punkten identisch sind, wird in der Tabelle Nr. 13 dargestellt. Die Artenidentität, verstanden als prozentuales Ausmaß der Übereinstimmung im Artenspektrum zweier Tierbestände wurde nach der Formel von SØRENSEN (zit. nach SCHWERDTFEGER 1975) berechnet:

$$I_A = 100 \times 2b/(c+d),$$

wobei b die Zahl der in beiden Tierbeständen vorkommenden Arten, c die Zahl der in dem einen und d die Zahl der in dem anderen der beiden Bestände gefundenen Tierarten bedeutet.

Danach besteht eine auffallend hohe Artenidentität von 88,4 % zwischen den Punkten "Bauer" und dem gegenüberliegenden "Bahndamm", während die Artenidentität des oberhalb des Kraftwerkes gelegenen Punktes "Biesenberg" mit den übrigen thermisch belasteten Punkten durchweg nur bei 50 % liegt.

| | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| Biesenberg | 100 | | | |
| Bauer | 59,2 | 100 | | |
| Auslauf | 50,0 | 66,5 | 100 | |
| Bahndamm | 46,2 | 88,4 | 57,1 | 100 |

Tabelle Nr. 13: Artenidentitäten zwischen den einzelnen Untersuchungspunkten. Tabelle berechnet nach den Angaben von Tabelle Nr. 12.

Die Epeorus- und Protonemura-Larven am Untersuchungspunkt "Bauer" und "Bahndamm" wurden ohne Ausnahme nur einmal im März bei normaler Wassertemperatur von 6,3 °C nachgewiesen.

2.4.3.4 Abundanz und Dominanz

Nach den Besiedlungsuntersuchungen (siehe Kapitel 2.3.2) ergaben sich für das Untersuchungsjahr 1975 an den vier Untersuchungspunkten folgende Abundanzverhältnisse (Individuen pro Quadratmeter) wobei angemerkt sei, daß es sich bei den Zahlenangaben jeweils um den geometrischen Mittelwert handelt :

| | Untersuchungspunkte | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Tierart | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm | |
| Hydropsyche | 435 | 602 | 106 | 402 | Abundanz |
| Polycentropus | 2,0 | 1,5 | 2,8 | 6,6 | |
| Limnophilus | 2,4 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | |
| Rhyacophila | --- | --- | --- | 2,0 | |
| Epeorus | 3,1 | --- | --- | --- | |
| Nemoura | 2,0 | 1,5 | --- | --- | |
| Protonemura | 2,2 | --- | --- | --- | |
| Chloroperla | 1,4 | --- | --- | --- | |
| Herpobdella | 3,9 | --- | 5,7 | 7,1 | |
| Artendichte | 8 | 4 | 4 | 5 | |
| Wohndichte | 452 | 607 | 116 | 419 | |
| Diversität 1) | 0,23 | 0,01 | 0,38 | 0,21 | |
| 2) | 0,92 | 0,98 | 0,84 | 0,92 | |

Tabelle Nr. 14: Merkmale der Tiergemeinschaften an den vier bekannten Untersuchungspunkten. Angegeben sind die Abundanzen, die Artendichte, die Wohndichte und die Diversitätindices, welche nach 1) SHANNON-WEAVER und nach 2) SIMPSON berechnet wurden.

Auffallend in ihrem zahlenmäßigen Vorkommen ist danach die Trichopterenart Hydropsyche pellucidula CURT., die unterhalb des "Auslaufes" in der Warmwasserfahne mit 106 Larven pro Quadratmeter am schwächsten vertreten ist. Die übrigen registrierten Organismen kommen in einem weitaus geringeren Maße vor, wobei bemerkenswert ist, daß der Egel Herpobdella octoculata an den beiden thermisch belasteten Punkten "Auslauf" und "Bahndamm" relativ häufig vorkommt. Wie im vergangenen Jahr, so lag auch schon 1974 die Individuendichte von Hydropsyche am "Auslauf" mit 151 Individuen pro Quadratmeter weit unter den Abundanzwerten an den übrigen Untersuchungsstellen, wie aus der Tabelle Nr. 15 zu ersehen ist.

| | Biesenberg | | Bauer | | Auslauf | | Bahndamm | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Tierart | 1974 | 1975 | 1974 | 1975 | 1974 | 1975 | 1974 | 1975 |
| Herpobdella | 3,3 | 3,9 | 1,2 | 0,0 | 1,8 | 5,7 | 2,9 | 7,1 |
| Hydropsyche | 359 | 435 | 674 | 602 | 151 | 106 | 319 | 402 |

Tabelle Nr. 15: Mittlere Abundanz (geo. Mittel) der beiden frequenzstärksten Arten von 1974 und 1975 im Vergleich. Berechnet nach den Besiedlungsuntersuchungen.

So kamen 1974 am Punkt "Biesenberg" 2,3 und 1975 4,1 mal soviele Hydropsyche-Larven vor wie am "Auslauf". Am Untersuchungspunkt "Bauer" waren es gar 4,4 und 5,6 mal, während die Stelle "Bahndamm" noch eine Steigerungsrate von 2,1, bzw. 3,7 vorzuweisen hat.
Der Einfluß des warmen Auslaufwassers auf die Hydropsyche-Abundanz konnte im vergangenen Jahr (1975) sehr gut registriert werden. Lag die Hydropsyche-Abundanz am Auslauf von Februar bis Juni zwischen 32 und 112 Larven pro Quadratmeter, so stieg die Anzahl - bedingt durch den Generatorenstillstand im Kraftwerk von Mitte Juli bis Ende August - auf 1808 Larven pro Quadratmeter. Dagegen konnten bei einer Untersuchung am 29.9.75 nur noch 88 Larven pro Quadratmeter festgestellt werden.
Bei Herpobdella veränderte sich die Individuenzahl an den beiden thermisch belasteten Punkten. Im Jahr 1975 war am "Auslauf" eine Zunahme um das 3,1 fache, am "Bahndamm" um das 2,4 fache zu verzeichnen. Auf den Besiedlungsplatten am sporadisch aufgeheizten Untersuchungspunkt "Bauer" kamen dagegen 1975 keine Herpobdella-Individuen vor.

Nach der Abundanz und der noch zu besprechenden Dominanz der einzelnen Arten soll an dieser Stelle auf die Frequenz der Arten bei den Besiedlungsuntersuchungen eingegangen werden. Unter Frequenz wird der Prozentsatz der Proben verstanden, in welchen die betreffende Art vorkommt.
Die Frequenz wurde in der bei SCHWERDTFEGER (1975) angegebenen Weise nach

$$F = 100 \times b/a$$ errechnet,

wobei a die Gesamtzahl der Proben und b die Probenanzahl in der die entsprechende Tierart vorkommt.

| | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tierart | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| Herpobdella | 38,4 | 6,3 | 42,9 | 50,0 |
| Epeorus | 15,4 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Chloroperla | 7,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Nemoura | 7,6 | 6,3 | 0,0 | 0,0 |
| Protonemura | 7,6 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Hydropsyche | 100,0 | 100,0 | 100,0 | 100,0 |
| Polycentropus | 53,8 | 18,8 | 28,5 | 50,0 |
| Limnophilus | 7,6 | 6,3 | 7,1 | 7,1 |

Tabelle Nr. 16: Frequenzen der wichtigsten Arten auf den Besiedlungsplatten nach Untersuchungen zwischen 1973 und 1975. Angaben in Prozent.

Betrachtet man die vorstehende Tabelle Nr. 16, in der die Frequenzen der wichtigsten Arten aus den Proben der Jahre 1973, 1974 und 1975 zusammengefasst sind. Zwei Dinge sind hier bemerkenswert.
Erstens kam die Trichopterenart Hydropsyche pellucidula in allen Proben an allen Untersuchungsstellen vor (100 %). Zweitens kamen 50 % der Arten (sämtliche kaltstenothermen Organismen wie Epeorus- und Plecopteren-Larven) in keiner der Proben an den Punkten "Auslauf" und "Bahndamm" vor. Larven von Nemoura spec. wurden einmal am Untersuchungspunkt "Bauer" während der Untersuchung im März 1975 nachgewiesen bei einer Wassertemperatur von 4,0 °C.

Die vorstehenden Abundanzwerte sind rein quantitativer Natur und beziehen sich - qualitativ gesehen - nur auf die ausgelegten Besiedlungsplatten, wie schon auf der Seite 22 erklärt wurde. Um die Basis der qualitativen Aussagen zur Zoozönosen an den einzelnen

Untersuchungspunkten zu vergrößern, wurden im Mai und Juni des Jahres 1975 neben den Platten auch jeweils Fontinalisbüsche und Microspora-Chladophorabüsche nach ihrer Besiedlung untersucht. DieMoos-, bzw. Algenbüschel wurden an Ort und Stelle in einer 5 %igen Formalinlösung fixiert und im Labor unter dem Mikroskop in 70 %igem Alkohol ausgewaschenund ausgewertet.

| | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| Tierart | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| Herpobdella | 0,3 | 6,6 | 22,6 | 9,7 |
| Baetis | 1,5 | 0,0 | 7,1 | 0,6 |
| Epeorus | 0,2 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Nemoura | 0,1 | 0,06 | 0,0 | 0,0 |
| Protonemura | 0,2 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| Chloroperla | 0,1 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Sialis | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| Chironomidae | 32,0 | 17,7 | 7,1 | 0,0 |
| Ceratopogonidae | 0,4 | 1,0 | 0,0 | 12,0 |
| Hydropsyche | 63,9 | 73,4 | 61,9 | 79,9 |
| Polycentropus | 0,1 | 0,06 | 0,9 | 0,5 |
| Limnophilus | 0,2 | 0,06 | 0,5 | 0,1 |
| Rhyacophila | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,2 |

Tabelle Nr. 17: Individuendominanzen an den bekannten Untersuchungsstellen. Berechnet nach den Platten-, Moos- und Algenuntersuchungen. Angaben in Prozent.

Setzt man die gefundenen Individuenzahlen zueinander in Beziehung, so ergeben sich hieraus ja bekanntlich die relativen Individuendominanzen. Das heißt,der Dominanzgrad einer Art (oder Gruppe) ist "der Prozentsatz, mit dem die betreffende Species in der Individuenzahl oder Biomasse sämtlicher Arten vertreten ist" (SCHWERDTFEGER 1975). In der oben stehenden Tabelle Nr. 17 sind die Individuendominanzen an den angegebenen Untersuchungspunkten für das Jahr 1975 angeführt. Folgt man dem Vorschlag von HESSE (zit. nach SCHWERDTFEGER 1975) und unterteilt die in der Tabelle angegebenen Dominanzwerte in drei Dominanzklassen, so ergibt sich das in der Tabelle Nr. 18 und in der Übersicht Tabelle Nr. 19 dargestellt Bild.

Lediglich der thermisch unbelastete Punkt "Biesenberg" weist ein charakteristisches Klassenbild auf, wie es auch für andere Biozönosen bereits von zahlreichen Autoren nachgewiesen wurde: Dominante Arten (bzw. Gruppen) sind in verhältnismäßig geringer Zahl, Begleitarten und Nebenarten jedoch in starkem Maße vertreten.

| Dominanzklassen | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| Dominante Arten (>5 %) | Hydropsyche<br>Chironomidae | Hydropsyche<br>Chironomidae<br>Herpobdella | Hydropsyche<br>Chironomidae<br>Herpobdella<br>Baetis | Hydropsyche<br>Ceratopogonidae<br>Herpobdella |
| Begleitarten (5-1 %) | Baetis | Protonemura<br>Ceratopogonidae | | |
| Nebenarten (<1 %) | Sialis<br>Ceratopogonidae<br>Herpobdella<br>Epeorus<br>Protonemura<br>Limnophilus<br>Nemoura<br>Chloroperla<br>Polycentropus | Nemoura<br>Polycentropus<br>Limnophilus | Polycentropus<br>Limnophilus | Baetis<br>Polycentropus<br>Limnophilus<br>Rhyacophila |

Tabelle Nr. 18: Die an den bekannten Untersuchungspunkten gefundenen Tierarten (Gruppen) und ihre Dominanzklassenzugehörigkeit; zusammengestellt nach den Dominanzwerten aus der Tabelle Nr.17.

| Dominanz-Klasse | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| Dominante Arten (> 5%) | 2 | 3 | 4 | 3 |
| Begleitarten (5-1%) | 1 | 2 | 0 | 0 |
| Nebenarten (<1%) | 9 | 3 | 2 | 4 |

Tabelle Nr.19: Dominanzklassen an den einzelnen Untersuchungsstellen. Zusammengestellt nach der Tabelle Nr. 17

Zu den dominanten Arten zählen am thermisch unbelasteten "Biesenberg" Hydropsyche- und ChironomidenLarven, während den anderen thermisch beeinflussten Punkten der Egel Herpobdella octoculata mit einem teilweise sehr hohen Prozentsatz ("Auslauf"= 22,6%) hinzukommt. Herpobdella gehört dagegen am "Biesenberg" mit nur 0,3 % zu den Nebenarten.
Abundanz- und Dominanzberechnungen zeigen also,daß es durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen im Sinne des zweiten THIENEMANNschen biozönotischen Grundgesetzes zu erheblichen Strukturveränderungen in der Benthalzoozönose kommt.

2.4.3.5 Diversität

In der Tabelle Nr. 14 sind die Abundanzen der wichtigsten Makroevertebraten auf den Besiedlungsplatten im Untersuchungsjahr 1975 zusammengefasst. Aus diesen Angaben wurden die Artendichte (Artenzahl/besiedlungsplatte) und die Wohndichte (Individuenzahl/ Besiedlungsplatte) wobei die für eine Besiedlungsplatte geltenden Daten jeweils auf einen Qudratmeter umgerechnet wurden.
Vergleicht man diese zwei wichtigen Merkmale einer Tiergemeinschaft, so liegt am Punkt "Biesenberg" die höchste Artendichte vor. Hierauf wurde ja schon bei der Berechnung des Artenfehlbetrages hingewiesen. Angemerkt sei an dieser Stelle, daß nur die auf den Besiedlungsplatten registrierten Artenzahl benutzt wurde, während bei der Berechnung des Artenfehlbetrages alle Tierarten eingingen, die ich auch bei den üblichen Faunenaufnahmen, Drifuntersuchungen etc. feststellte.
Die Artendichte war unterhalb des Kraftwerkes um 50 % ("Bauer", "Auslauf"), bzw. um 37,5 % ("Bahndamm") verringert. Entsprechende Werte ergeben sich ja bekanntlich auch bei dem Artenfehlbetrag.

Die größte Wohndichte lag am Untersuchungspunkt "Bauer" mit 607 Individuen vor, während sie an die Stellen "Biesenberg" und "Bahndamm" mit 452 und 419 Individuen fast gleich waren. Der thermisch stark belastete "Auslauf" kennzeichnete sich durch eine äusserst geringe Wohndichte von 116 Individuen pro Quadratmeter. Bestimmt wurden die Wohndichten durch das Vorkommen von Hydropsyche pellucidula, die mit hohen Prozentsätzen an der Wohndichte beteiligt war. Nachfolgend wird untersucht, inwieweit diese Unterschiede in der Arten- und Wohndichte (= Diversität) an den einzelnen Punkten auch mathematisch zum Ausdruck kommen.
Berechnet wurden die Diversitätsindices nach der Formel von SHANNON-WEAVER

$$d = - ((n_i/n) \times \log_e (n_i/n))$$

und nach der Formel von SIMPSON

$$d = n_i (n_i-1)/ n ( n-1);$$

beide Formeln zitiert nach SCHWERDTFEGER 1975; n = Gesamtzahl der Individuen, $n_i$ = Zahl der Individuen der i - ten Art.
"Biesenberg"und "Bahndamm" zeigen nach SHANNON-WEAVER fast gleiche Indices (Tab. Nr. 14). "Bauer" und "Auslauf" zeigen trotz gleicher Artendichte sowohl untereinander, als auch zu den beiden anderen Punkten starke Abweichungen. Der niedrige Index von 0,01 am Punkt "Bauer" ist auf den hohen Anteil von Hydropsyche an der Wohndichte zurückzuführen, wohingegen der Index am "Auslauf" durch die geringe Wohndichte am höchsten ist. Die Formel von SIMPSON bringt mehr die Konzentration der Dichte auf die individuenreichste Art zum Ausdruck. Da aber Hydropsyche an allen Stellen stark die Wohndichte bestimmt, zeigen die Indices nur unbedeutende Unterschiede.
Die Berechnungen machen deutlich, daß in diesem Fall die Diversitätsindices nicht geeignet sind, die Strukturunterschiede in den Zoozönosen zu charakterisieren. Nur in einer gleichzeitigen Darstellung der Abundanzen, der Wohn- und Artendichten, des Artenfehlbetrages sowie der Dominanzverhältnisse sind auch für den Nichtfachmann Verschiebungen in den jeweiligen Zönosen leichter erkennbar, als es die bloßen Diversitätsindices auszudrücken vermögen.

2.4.3.6 Benthosdrift bei Temperaturschocks

Organismen gleich welcher Art, in deren Biotopen sich die ökologischen Bedingungen ändern, können verschiedenartig auf diese Änderungen reagieren. Sofern es sich um sessile Organismen handelt, haben sie lediglich die Möglichkeit durch entsprechende physiologische Maßnahmen die Änderungen (z.B. Sauerstoffabnahme) zu kompensieren, was allerdings in den meisten Fällen nur begrenzt möglich ist. Daher folgt bei weiterer Verschlechterung der ökologischen Bedingungen in der Regel der Exitus. Anders sieht es bei vagilen Formen aus, die neben der erwähnten Adaptationsmöglichkeit die weitaus sichere Möglichkeit der Flucht haben.

Terrestrische Tiere und aktivschwimmende aquatile Formen (Pisces) sind in ihren Fluchtrichtungen nicht festgelegt. Dagegen bleibt den meisten Evertebraten in Bächen und Flüssen bei plötzlichen Änderungen des chemischen und physikalsichen Wasserzustandes nur eine Fluchtrichtung: nach Verlassen ihrer Habitate werden sie auf Grund der mehr oder minder starken Strömungsgeschwindigkeit als Drift, in diesem Fall als Fluchtdrift abgetrieben (WATERS 1965 nennt diese Driftform "catastrophic drift"). Diese Fluchtdrift ist von der bekannten diurnalen Drift ("behavioral drift", WATERS 1965) zu trennen. Zwar können beide Driftformen die gleiche Artenzusammensetzung haben, doch sind ihre auslösenden Faktoren unterschiedlicher Natur. Sind es bei der Fluchtdrift z.B. die oben erwähnten tiefgreifenden Änderungen chemischer oder physikalischer Faktoren, die zu einer arhythmischen Drift führen, so ist der Verlauf der diurnalen Drift sehr eng mit den Lichtverhältnissen korreliert. Mit Einbruch der Dunkelheit setzt die Driftaktivität ein, die bis 24 Uhr ihr Maximum erreicht, und dann sehr schnell die niedrige Tagesdriftrate erreicht. Zwar liegen über die natürliche Drift und ihre auslösenden Faktoren zahlreiche Arbeiten vor (z.B. WATERS 1962, 1965, 1968; MÜLLER 1963 a,b, 1966, 1970, 1973; MÜLLER u.a. 1963; LEHMANN 1967; PEARSON und KRAMER 1972; CLOUD und STEWART 1974; MEIJERING 1974; KELLER 1975), doch "ist trotz der Fülle des Materials nicht zu übersehen, daß ein allgemeineres Verständnis kausaler Zusammenhänge und des Zustandekommens der Drift noch weitgehend fehlt" (KELLER 1975, S. 295).

Hinsichtlich der Wassertemperatur und ihrer generellen Auswirkung auf die Drift stellte MEIJERING (1970) bei drei Gammerusarten bei steigender Temperatur eine Drifterhöhung fest (Temperaturerhöhung = 3,5 °C; Erwärmungsdauer = 3,5 Stunden).

Derselbe Autor betont wie WATERS 1962, daß die Temperatur zwar zu den arhythmischen Faktoren, die auf die Höhe der Driftraten einwirken können, gerechnet werden darf, jedoch vermöge sie kaum die Eintrittszeit der allabendlichen Drifterhöhung zu bestimmen. Die von WATERS (1968) angeführte Beziehung zwischen erhöhter Wassertemperatur und dem Driftanstieg von Oligophlebodes sigma (Trichoptera) wird von PEARSON u. KRAMER (1972) in Frage gestellt. Nach diesen Autoren ist die Drifterhöhung der tagaktiven Trichopterenlarve mehr an die Lichtstärke als an eine geringfügige Temperaturerhöhung gebunden. MÜLLER (1963, 1966) kommt bei seinen Untersuchungen zur Driftaktivität von Gammarus pulex zu dem Schluß, daß die Temperatur das Ausmaß der Drift im Sinne der Vant' Hoffschen Regel beeinflußt:
Ein Temperaturanstieg um 1,5 °C bewirkte eine Drifterhöhung um das Vierfache. Bei einer Abkühlung um 1,5 °C wurden die Ausgangswerte wieder erreicht.

Zur Fluchtdrift - ausgelöst durch plötzliche Temperaturänderungen - liegen m.W. bis heute noch keine Feld- und Laboruntersuchungen vor. IBSCHER und KELLER (1975) stellen eine umfangreiche Versuchsanlage vor, mit der die Wirkung driftbeeinflussender Faktoren sehr gut untersucht werden kann. In ersten Versuchen (KELLER 1975) zur Drift von Ecdyonurus venosus, hat sich gezeigt, daß eine Temperaturerhöhung um 5°C (von 6 °C auf 11 °C) eine Minderung der Driftrate in den folgenden sechs Tagen um 20 % mit sich bringt. Eine Abkühlung von 11,0 °C auf 6,2 °C bewirkte dagegen eine Erhöhung der Drift um etwas mehr als 10 % in den folgenden sechs Versuchstagen. Um die Wirkung plötzlich eintretender Temperaturveränderungen, wie sie an einem durch ein Kraftwerk aufgeheizten Fluß täglich vorkommen, untersuchen zu können, müßte die Anlage von KELLER m.E. auf Grund des großen Wasservolumens (8-9 $m^3$) in ihrer - für solche Fragestellungen mangelnden - Kühlleistung korrigiert werden.

Im Lenneuntersuchungsgebiet werden die Organismen unterhalb des Kraftwerkes durch den An- und Ausfahrbetrieb täglich mindestens zwei kurzfristig einsetzenden Temperaturschocks (Aufheizung und Abkühlung) unterzogen. Es handelt sich somit um eine erhebliche Änderung eines der wichtigsten abiotischen Faktoren, so daß sich für mich mehrere Fragen stellten.

Erstens galt es zu erfahren, ob eine Fluchtdrift nach einer Aufheizung oder Abkühlung überhaupt eintritt, und wenn ja, in welchem Ausmaß. Zweitens war zu erwarten, daß bei einer Fluchtdrift einige Arten sicherlich stärker driften würden als bei einer normalen diurnalen Drift; und drittens galt es zu überprüfen, inwieweit die Fluchtdrift die normale Drift beeinflußen würde.

Die Schwierigkeiten bei der Behandlung dieser Fragestellungen sind größtenteils methodischer Natur. Die Hauptschwierigkeit - Finden eines geeigneten Bezugspunktes - konnte im Untersuchungsgebiet ausgeschaltet werden. Mit den Untersuchungspunkten "Bauer" und "Bahndamm" standen zwei Untersuchungsstellen zur Verfügung, die sowohl in den wichtigsten physiographischen Kriterien (Entfernung vom Kraftwerk, Strömungsgeschwindigkeit, Bewuchs und Steinmaterial), als auch in ihren Tierbeständen weitgehend übereinstimmten (Artenidentität von 88,4 %).
Der einzige Unterschied zwischen beiden Punkten bestand ja darin, daß der Punkt "Bauer" bei entsprechender Wasserführung in der Kaltwasserfahne und der Punkt "Bahndamm" generell in der Warmwasserfahne lag. Bei An- und Abschaltbetrieb der Generatoren lagen am "Bahndamm" die eingangs erwähnten Temperaturänderungen vor, während sich am gegenüberliegenden Punkt "Bauer" nichts änderte.
Es mußte für die Drifuntersuchungen ein Zeitpunkt abgewartet werden, in dem der Punkt "Bauer" sowohl vorher, als auch während des Versuches thermisch völlig unbelastet sein mußte. Um eine zu erwartende Adaptation der Tiere an die Temperaturschocks im Einzugsbereich des "Bahndammes" auszuschließen, sollte die Wassertemperatur auch hier am besten über eine längere Zeitspanne gleichmäßig sein ( warm oder kalt). Da davon ausgegangen werden konnte, daß das Kraftwerk keineswegs über zwei oder drei Wochen ununterbrochen arbeiten würde, bot sich als bester Versuchszeitraum die Zeit nach den Betriebsferien (Stillegung der Turbinen) an. Auch hier gab es erhebliche Schwierigkeiten, da das Ende dieser Phase nicht vorher bekannt war, sondern die Arbeit kurzfristig aufgenommen wurde. Weiterhin war für die Durchführung der Driftversuche unbedingt trockene Witterung erforderlich.
Die Stillegungsphase der Turbinen dauerte im Jahr 1975 vom 20.7. bis zum 25.8.; die erste umfassende Driftuntersuchung fand vom 28.8. bis zum 29.8. statt.

Betrachtet man zuerst die chemischen Analysenwerte (Tabelle Nr. 20 und Tabelle Anhang Nr. X) so sind an den Punkten erwartungsgemäß keine größeren Unterschiede festzustellen.

| Parameter | Untersuchungspunkte | |
|---|---|---|
| | Bauer | Bahndamm |
| Wassertemperatur °C | 14,9 | 16,5 |
| Strömungsgeschw. m/s | 0,63 | 0,61 |
| Sauerstoffgehalt mg/l | 8,4 | 8,5 |
| pH | 7,7 | 7,8 |
| Leitfähigkeit mS/cm | 0,31 | 0,31 |
| $KMnO_4$ - Verbrauch mg/l | 25,2 | 24,3 |
| Ammonium mg/l | 0,19 | 0,25 |
| Phosphat mg/l | 0,93 | 0,99 |
| Nitrit mg/l | 0,25 | 0,25 |
| Nitrat mg/l | 7,60 | 8,20 |

Tabelle Nr. 20: Mittelwerte einiger chemischer Parameter aus der Driftuntersuchung vom 26./29.8.1975. Die gesamten Analysenwerte sind der Tabelle Anhang Nr. X zu entnehmen.

Lediglich die Wassertemperaturen zeigten erhebliche Differenzen, deren Verlauf anhand der Abbildung Nr. 20 a diskutiert werden soll.

Nach dem Meßstreifen des Gerätes"Bahndamm" lagen die Temperaturen während des Nachmittags bis abends um 19.00 Uhr zwischen 19,0 und 20,7 °C. Nach dem Abschalten der Turbinen fiel die Wassertemperatur um 4,4 °C auf 14,6 °C. Von 20.00 Uhr bis um 6.30 Uhr des folgenden Tages blieb die Temperatur an dieser Stelle auf ihrem natürlichem Wert ( = Temperatur am Untersuchungspunkt "Bauer"), um dann gegen 7.00 Uhr wieder auf 19,5 °C anzusteigen. Am Punkt "Bauer" lag dagegen die Temperatur im gesamten Untersuchungszeitraum zwischen14,6 und 15,8 °C.

Die Gesamtzahl der während dieser Driftuntersuchung gefangenen Evertebraten betrug am Punkt "Bauer" 294 Individuen und am "Bahndamm" 249. Die prozentuale Zusammensetzung der Driftfänge war an den beiden Stellen gleich, wie aus der Tabelle Nr. 21 zu ersehen ist. Den Hauptdriftanteil teilten sich jeweils Chironomiden-Larven und -Puppen, Baetis-Larven und Hydropsyche-Larven, wobei hier noch der Unterschied in einer doppelt so großen Chironomiden-Puppendrift am "Bahndamm" erwähnenswert.

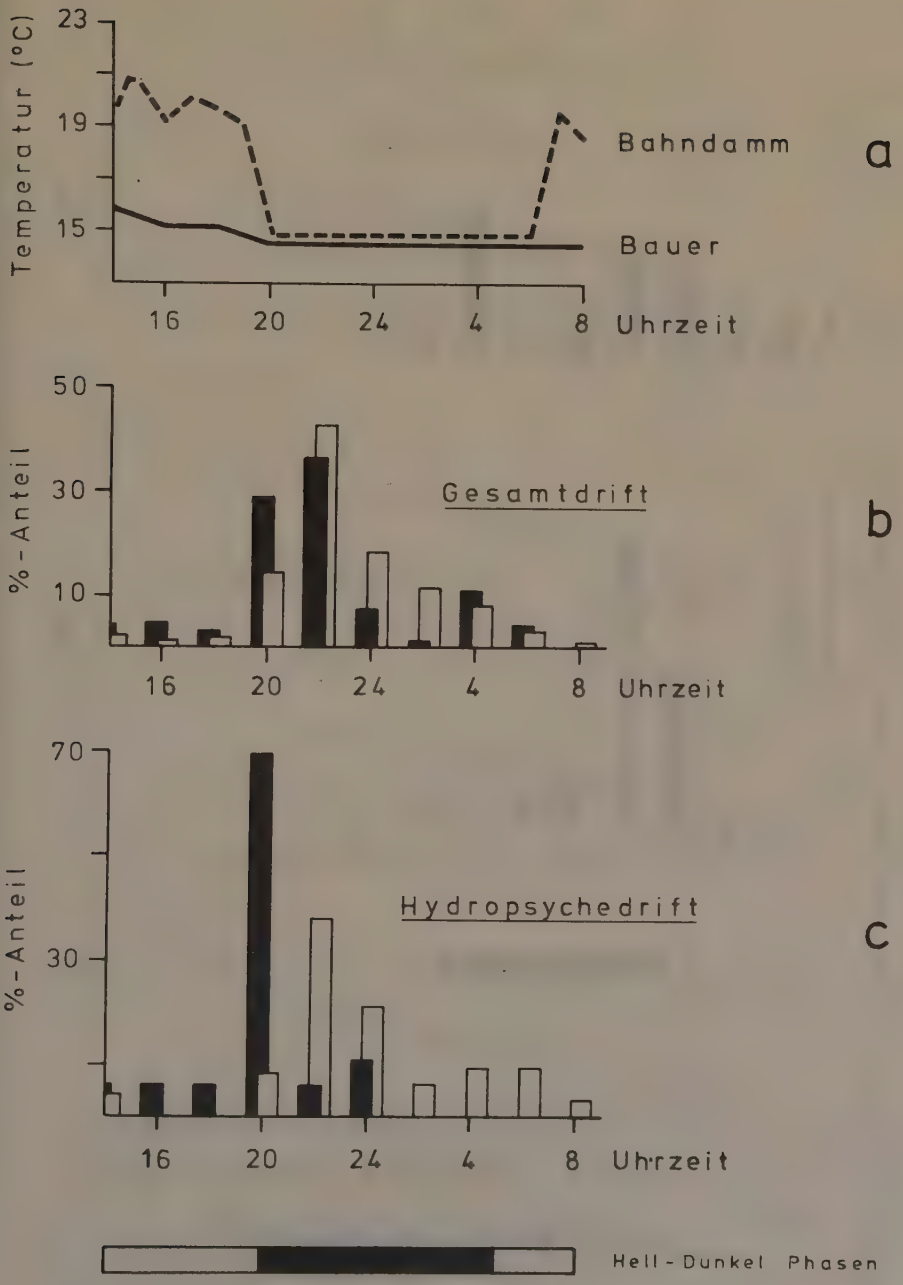
| Tierart (-gruppe) | Untersuchungspunkte Bauer abs. | Bauer proz. | Bahndamm abs. | Bahndamm proz. |
|---|---|---|---|---|
| Herpobdella | 1 | 0,3 | 5 | 2,0 |
| Hydrodroma | 4 | 1,3 | 1 | 0,4 |
| Baetis La. | 96 | 32,6 | 96 | 38,4 |
| Baetis Pu. | 1 | 0,3 | 1 | 0,4 |
| Coleoptera La. | 3 | 1,0 | 3 | 1,2 |
| Coleoptera Im. | 1 | 0,3 | - | --- |
| Chironomida La. | 137 | 46,6 | 96 | 38,5 |
| Chironomida Pu. | 16 | 5,3 | 28 | 11,2 |
| Hydropsyche La. | 34 | 11,5 | 19 | 7,6 |
| Polycentropus La. | 1 | 0,3 | - | --- |
| Summe | 294 | 100 | 249 | 100 |

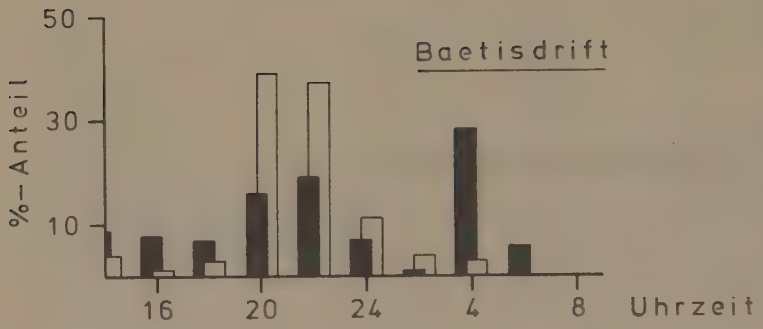
Tabelle Nr. 21: Zusammensetzung (absolute und prozentuale Häufigkeit) der Drift vom 28./29.8. 1975

Über den zeitlichen Verlauf der Gesamtdrift an beiden Punkten geben die Abbildungen Nr. 20 b und 21 Aufschluß. Die Drift am thermisch unbelasteten Punkt "Bauer" zeigte einen typischen Verlauf. Mit dem Einbruch der Dunkelheit gegen 20 Uhr stieg die Driftrate an, um gegen 22 Uhr ihren Maximalwert zu erreichen. Dannach fiel die Driftrate bis zum Ende der Untersuchung kontinuierlich ab. Ein entsprechendes Bild, daß - mathematisch gesehen - dem einer Normalverteilung entspricht (siehe auch Verlauf im Häufigkeitssummendiagramm Abbildung Nr.21), zeigte in etwa auch die Drift am Untersuchungspunkt "Bahndamm". Auffallend sind hier jedoch drei Phänomene, die an den beiden Abbildungen Nr. 20 und 21 diskutiert werden sollen.

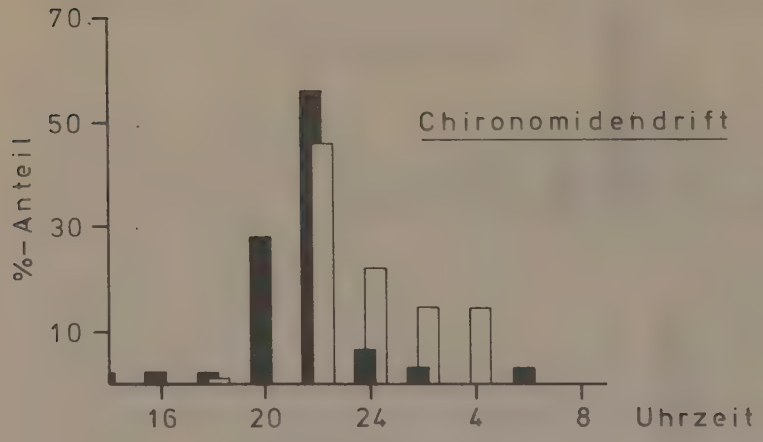
Durch die leichten Temperaturschwankungen zwischen 14 und 18 Uhr ($\Delta$ t = 1,8 °C) war schon während der sonnenreichen Nachmittagsstunden eine Drifterhöhung gegenüber dem Punkt "Bauer" festzustellen. Hier waren um 18 Uhr erst 3,5 % der Gesamtdrift gedriftet, während es am "Bahndamm" 3,7 mal soviel, nämlich 13 % waren. Bis um 20 Uhr drifteten nach dem Temperatursturz schon knapp 40 %, gegenüber 17,5 % am Punkt "Bauer".

Nach Erreichen der maximalen Drift um 22 Uhr fiel die Driftrate bis morgens um 2 Uhr unnatürlich schnell auf rund 1 % ab. Eine entsprechend geringe Zunahme zeigt sich auch im Häufigkeitssummendiagramm.


Temperatur (°C)
23
19
15
Bahndamm
Bauer
a
16
20
24
4
8
Uhrzeit
%-Anteil
50
30
10
Gesamtdrift
b
16
20
24
4
8
Uhrzeit
%-Anteil
70
30
Hydropsychedrift
c
16
20
24
4
8
Uhrzeit
Hell-Dunkel Phasen




d




e

Abb. Nr. 20 a-e: Driftuntersuchung vom 28./29. 8. 1975 an den Punkten Bahndamm (schwarz) und Bauer (weiß)

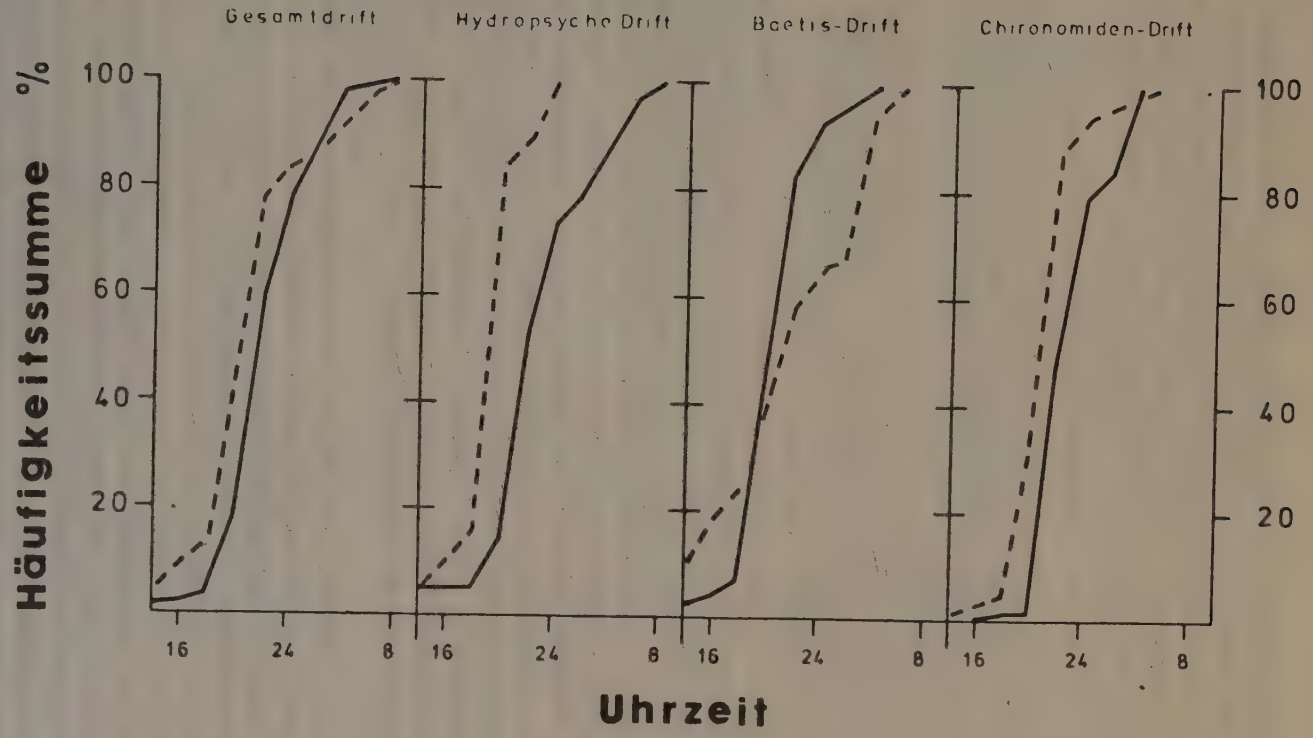



Abb. Nr. 21 Driftuntersuchung vom 28./29. August 1975

Bauer ——— Bahndamm - - - - -

Auffallend erscheint ein erneutes Ansteigen der Drift zwischen 2 und 4 Uhr morgens, wo Driftraten wie am Punkt "Bauer" erreicht wurden. Nachdem nun festgestellt ist, daß eine Fluchtdrift nach dem Temperatursturz vorlag, ist nachfolgend die Frage zu klären, welche der drei dominanzstärksten Arten (bzw. Gruppen) hieran beteiligt sind.

Wie eine Betrachtung von Abbildung Nr. 20 c,d und e ergibt, waren an dieser Fluchtdrift Hydropsyche-Larven und Chironomiden-Larven (und Chironomiden-Puppen) beteiligt. Zunächst sei auf die Hydropsyche-Drift eingegangen.
Für den Driftverlauf am Punkt "Bauer" gilt ohne große Abweichungen das, was für den Verlauf der Gesamtdrift gesagt wurde: Anstieg der Drift mit Einbruch der Dunkelheit; maximale Drift zwischen 20 und 22 Uhr, dann allmählicher Driftabfall.
Ganz anders sieht dagegen die Hydropsyche-Drift am gegenüberliegenden "Bahndamm" aus. Bereits um 20 Uhr waren hier bereits 84 % der Hydropsyche-Larven gedriftet, gegenüber 14,5 % am Untersuchungspunkt "Bauer" (Abbildung Nr. 20 c). Der 84 %-Wert wurde an dieser Stelle erst 7 Stunden später erreicht. Nach der enormen Driftrate zwischen 18 und 20 Uhr ist die Driftaktivität am Punkt "Bahndamm" in den folgenden Stunden als äusserst gering zu kennzeichnen. Sie fiel um 22 Uhr unter 10 %, wogegen am unbeeinflussten Punkt um diese Zeit die Maximaldrift zu verzeichnen war. Die Hydropsyche-Drift dieser Nacht endete am Punkt "Bahndamm" um 24 Uhr, während acht Stunden später an dem thermisch unbeeinflussten Punkt Bauer noch eine geringe Driftaktivität vorlag.

Die Chironomiden-Drift (Puppen und Larven) zeigte am Punkt "Bauer" einen erwarteten Verlauf mit maximaler Drift zwischen 20 und 22 Uhr, wonach bis 4 Uhr morgens zunächst ein allmählicher, dann aber ein plötzlicher Abfall erfolgte. Dagegen lag am "Bahndamm" schon zwischen 18 und 20 Uhr eine hohe Drift von 28 % vor, die bis 22 Uhr noch stetig anstieg und dann allerdings sehr schnell abfiel (Abb. 20 d). Um 20 Uhr, eine Stunde nach Beginn des Temperaturschocks waren an dieser Stelle bereits 32 % gegenüber 1,5 % am Punkt "Bauer" gedriftet. Verglichen mit der Hydropsyche-Drift war die Chironomiden-Drift nicht auf einen so extrem kurzen Zeitraum beschränkt, sondern verteilte sich auch nach dem Abfall um Mitternacht noch bis in die Morgenstunden.

Abschließend sei noch auf die Baetiden-Drift eingegangen (Abbildungen Nr. 20 d und Nr. 21). Die Baetis-Drift am kalten Punkt "Bauer" hatte den Verlauf einer Normalverteilung. Auffallend war jedoch, daß die maximale Driftaktivität zwischen 18 und 20 Uhr (bzw. 22 Uhr) vorlag. Die Maximaldrift der Baetis-Larven trat somit zwei Stunden früher ein, als die der Hydropsyche- und Chironomiden-Larven. Heteronom war dagegen der Verlauf am "Bahndamm". Zeigten hier Hydropsyche und Chironomiden eine deutliche Vorverlegung der Drift, bedingt durch den plötzlichen Temperaturabfall, so war bei der Baetiden-Drift eine Retardation zu erkennen. Am Nachmittag war die Drift merklich höher als am Untersuchungspunkt "Bauer", jedoch fehlte der plötzliche Anstieg nach dem Temperaturabfall. Bis 2 Uhr waren am"Bahndamm" knapp 67%, im Einflußbereich des Punktes "Bauer" dagegen über 96% gedriftet (Abb.Nr.21). Zwischen 2 und 4 Uhr morgens war am Bahndamm noch einmal ein plötzlicher Anstieg der Drift festzustellen.

Am 3. Oktober 1975 wurde ab 8 Uhr morgens eine weitere Drift-untersuchung vorgenommen, die gegen 18 Uhr wegen einsetzenden starken Niederschlages abgebrochen werden musste.

| Parameter | Untersuchungspunkte | |
|---|---|---|
| | Bauer | Bahndamm |
| Wassertemperatur °C | 12,3 | 16,4 |
| Strömungsgeschwindigkeit m/s | 0,71 | 0,68 |
| pH | 7,5 | 7,5 |
| Leitfähigkeit mS/cm | 0,30 | 0,30 |
| $KMnO_4$-Verbrauch mg/l | 11,8 | 11,9 |
| Ammonium mg/l | 0,33 | 0,33 |
| Phosphat mg/l | 0,74 | 0,77 |
| Nitrat mg/l | 12,4 | 13,5 |
| Nitrit mg/l | 0,22 | 0,22 |

Tabelle Nr. 22: Mittelwerte einiger chemischer Parameter aus der Drifuntersuchung vom 3. Oktober 1975. Die gesamten Analysenwerte sind der Tabelle Anhang Nr. XI zu entnehmen.

Ein Vergleich der abiotischen Faktoren (Tab. Nr. 22 und Anhang Nr. XI) zeigt, daß abgesehen von den Temperaturschwankungen keine größeren Differenzen an den beiden Untersuchungspunkten vorliegen. Die mittlere Wassertemperatur lag am "Bahndamm" mit 16,4 °C fast 4 °C über dem Mittelwert beim Punkt "Bauer". Die Abbildung Nr. 22 a zeigt den zeitlichen Verlauf der Wassertemperaturen.

Am Punkt "Bauer" lag die Wassertemperatur während des Großteils des Untersuchungszeitraumes zwischen 12, 0 und 12,6 °C. Durch den plötzlichen Einstrom warmer Wassermengen stieg die Temperatur zwischen 13 und 14 Uhr um 2,7 °C auf 15,3 °C, um dann innerhalb von 30 Minuten wieder auf 12,1 °C zu fallen. Die Wassertemperatur stieg am "Bahndamm" während der Vormittagsstunden und am frühen Nachmittag kontinuierlich an. Die Maximaltemperatur von 19,0 °C wurde um 14.30 Uhr erreicht. Innerhalb der nächsten Stunde sank sie jedoch wieder auf 16 °C, um dann gegen 17 Uhr noch einmal anzusteigen. Die nachstehende Tabelle Nr. 23 zeigt die Zusammensetzung der Drift an den beiden Untersuchungsstellen.

| | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Bauer | | Bahndamm | |
| Tierart (-gruppe) | abs. | proz. | abs. | proz. |
| Herpobdella | 1 | 0,8 | 5 | 3,0 |
| Hydracarina | 1 | 0,8 | - | --- |
| Baetis La | 4 | 3,2 | 5 | 3,0 |
| Baetis Pu | - | --- | 5 | 3,0 |
| Coleoptera La | - | --- | 2 | 1,2 |
| Chironomida La | 52 | 40,0 | 44 | 26,3 |
| Chironomida Pu | - | --- | 1 | 0,6 |
| Hydropsyche La | 70 | 53,8 | 102 | 61,1 |
| Polycentropus La | 1 | 0,8 | - | --- |
| Pisidium | - | --- | 2 | 1,2 |
| Summe | 129 | 100 | 166 | 100 |

Tabelle Nr. 23: Zusammensetzung (absolute und prozentuale Häufigkeit) der Drift. Untersuchung vom 3. Oktober 1975

Die Anzahl der gefangenen Organismen lag am erwärmten Punkt "Bahndamm" mit 166 Individuen um 36 Tiere höher als am gegenüberliegenden Untersuchungspunkt "Bauer". Bei der Zusammensetzung ergaben sich auf Grund der fortgeschrittenen Jahreszeit einige Verschiebungen. So waren in den Driftfängen nur noch geringe Anzahlen von Chironomiden- und Baetis-Puppen zu finden. Da sich die Gesamtdrift zu 59,8 % ("Bauer"), bzw. 61,1 % ("Bahndamm") zusammensetzte, kann auf eine ausführliche Darstellung des Verlaufs der Gesamtdrift (Abb. Nr. 22 b) und auf den Verlauf der Hydropsyche-Drift (Abb. Nr. 22 c) verwiesen werden.

Am Punkt "Bauer" war im Verlauf des Vormittags zwischen 8 und 12 Uhr eine geringe Driftaktivität festzustellen. Mit dem plötzlichen

Abb. Nr 22 a-d Driftuntersuchung vom 3.10.1975 an den Punkten Bahndamm (schwarz) und Bauer (weiß)

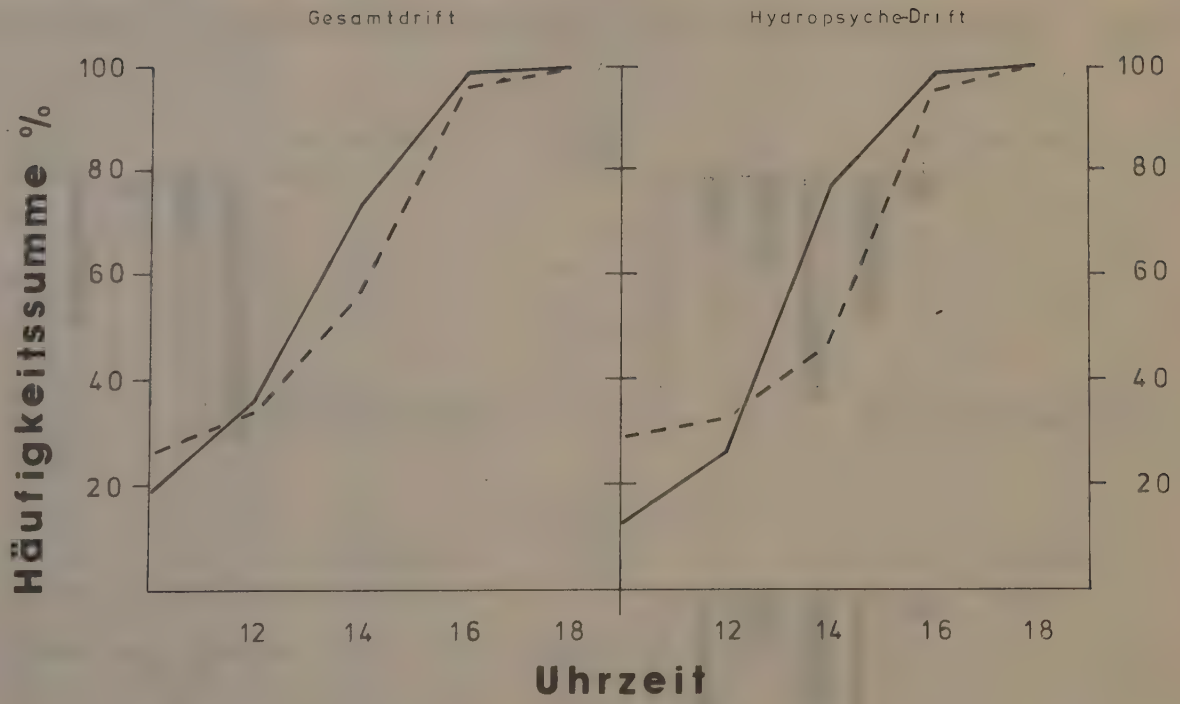



Abb. Nr. 23 Driftuntersuchung vom 3. Oktober 1975

Bauer ————

Bahndamm - - - - -

Mit dem plötzlichen und kurzfristigen Anstieg der Temperatur zwischen 13 und 14 Uhr auf 15,3 °C stieg auch die Driftrate auf knapp 50 % an. Der nachfolgende Abfall der Temperatur auf den Ausgangswert innerhalb von 30 Minuten zog keinen weiteren Driftanstieg mit sich.
Nach dem Anfahrbetrieb des Kraftwerkes um 7 Uhr und der damit verbundenen Wassererwärmung lag am "Bahndamm" zwischen 8 und 1o Uhr eine relativ hohe Driftrate vor. Bis 14 Uhr ging die Hydropsyche-Drift trotz weiterer langsamer Erwärmung um mehr als die Hälfte zurück. Diese Tatsache deutet auf eine Adaptation der Hydropsyche-Larven hin. Zwischen 14.30 und 15.30 sank, wie oben angegeben, die Wassertemperatur um 3,1 °C. Dieser plötzliche Temperaturabfall verursachte einen sprunghaften Anstieg der Drift von 12,5% um 14 Uhr auf 50% um 16 Uhr. Bis 18 Uhr war die Driftrate auf ca. 3% abgefallen.
Die Erhöhung der Driftraten nach dem Wärmeschock ("Bauer"), bzw. nach dem Kälteschock ("Bahndamm") lässt sich auf dem Häufigkeitssummendiagramm Abbildung Nr. 23 gut erkennen.
Bis um 12 Uhr drifteten am Punkt "Bauer" 26,5% der Hydropsyche-Larven, nach dem Wärmeschock um 14 Uhr dagegen schon 76,5%. Um 14 Uhr - vor dem Temperaturabfall - waren es am Bahndamm 46,5%, nach dem Temperaturabfall um 3,1 °C jedoch schon 96,5%.
Betrachtet man in diesem Fall den Untersuchungszeitraum von 10 Stunden, so findet man in den zwei Stunden, in denen ein Schockereignis stattfand, eine ebenso hohe Driftrate wie in den übrigen acht Stunden zusammen . Die Drift der Chironomiden-Larven zeigte entgegen den Untersuchungen vom 28./29. August 1975 keine eindeutige Beziehung zu den Temperaturerhöhungen. Hier kann nur festgestellt werden, daß die allmähliche Temperaturerhöhung am Untersuchungspunkt "Bahndamm" auch eine Drifterhöhung mit sich brachte, die mit wieder fallender Wassertemperatur abnahm.
Die Drifuntersuchungen zeigen, daß sich die durch das Kraftwerk verursachten Temperaturschocks auf die Driftaktivität einiger Evertebraten auswirken und besonders deutlich bei den Köcherfliegen-Larven der Gattung Hydropsyche eine Fluchtdrift hervorrufen. Diese Fluchtdrift setzt ohne Bezug zur Tageszeit ein. Hierdurch wird u.Umständen die natürliche Drift der "nachtaktiven" ( bezogen auf die Driftaktivität) Larven in eine unpassende Tageszeit verlegt, wodurch es für die Larven zu einer negativen Beeinflussung des Räuber-Beute Verhältnissen kommen kann (Abb. Nr. 20c).
Die Untersuchung vom 3.10.1975 zeigte, daß die Höhe der Driftrate

bei Hydropsyche vom Kälte- und Wärmeschock etwa gleich stark beeinflußt wird.
Die geringe Abundanz von Hydropsyche am "Auslauf", dem Untersuchungspunkt mit den größten Temperatursprüngen, hat anhand der bei den Driftversuchen gewonnenen Ergebnisse mit größter Wahrscheinlichkeit ihre Ursache in den durch die Temperaturschocks ausgelösten Fluchtdriften. Hierauf wurde ja schon bei der "Abundanz" auf Seite 54 hingewiesen.

### 2.4.2.7 Untersuchungen zur Larvalentwicklung und Biomasse von Hydropsyche pellucidula CURT.

Auf die Temperaturabhängigkeit der Larvalentwicklung verschiedener aquatiler Insektenarten wurde u.a. schon in Kapitel 1.1 hingewiesen. Bei den dort zitierten Arbeiten handelte es sich um Laborversuche. Mehrjährige Untersuchungen in einem thermisch belasteten Fließgewässer zur Larvalentwicklung und zur Flugzeit von Insektenarten existierten bislang noch nicht.
Im vorliegenden Fall wird untersucht, ob eine Beeinflussung der Larvalentwicklung von Hydropsyche pellucidula durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen vorliegt, und inwieweit sich diese Änderungen auf die Flugzeiten der Imagines auswirken (siehe 2.4.2.8).
Larven von Hydropsyche pellucidula boten sich aus verschiedenen Gründen für die oben erwähnten Fragestellungen an: erstens gehören sie an allen Punkten zur dominanten Organismenklasse, zweitens sind sowohl die Frequenzen (Tabelle Nr.16) als auch drittens die Abundanzen (Tabelle Nr.14) dieser Art bei den in Frage kommenden Tierarten am höchsten. Weiterhin ist bei normalen abiotischen Verhältnissen die Driftaktivität verglichen mit der Abundanz relativ gering, wie auch die Laborversuche zur Mobilität zeigen (siehe 3.2.3).

Auf die widersprüchlichen Angaben zur Dauer einer Hydropsyche-Generation hat SCHUHMACHER (1970) hingewiesen. Während SATTLER (1958) und KAISER (1965) für die meisten Hydropsyche-Arten zwei Generationen pro Jahr angaben, erbrachten die Untersuchungen von SCHUHMACHER (1970) sowie SCHUHMACHER und SCHREMMER (1970) an der Steinach und am Neckar für die Arten H.instabilis, H.saxonica, H.siltalai, H.angustipennis, H.borealis und H.ornulata einen monozyklischen

Entwicklungskreislauf. Derselbe Autor fand im kalten Oberlauf der Steinach Anzeichen für einen zweijährigen Entwicklungskreislauf für H. instabilis. Verantwortlich ist nach seiner Ansicht die niedrige Bachtemperatur, die auch in den Sommermonaten nicht über 14 °C anstieg.
DITTMAR (1955), der den rund 30 km vom Lenneuntersuchungsgebiet entfernten Aabach untersuchte, gibt für H. pellucidula einen 1 1/2-jährigen Entwicklungszyklus an. Diese Behauptung muß stark angezweifelt werden, da sich durch den Fang von nur 9 Imagines m.A. nach keine Angaben über die Flugzeiten und die Generationsdauer machen lassen. Darauf hat schon SCHUHMACHER hingewiesen, demzufolge "nicht ausgeschlossen werden kann, daß es sich um Nachzügler aus einer Flugzeit pro Jahr handelt".
SZCZESNY (1975) stellte in dem Karpatenfluß Raba einen einjährigen Zyklus für H. pellucidula und H. instabilis fest.

Faßt man sämtliche Besiedlungsuntersuchungen im Lennegebiet von Februar 1973 bis September 1975 zusammen, so ergaben sich an den vier Untersuchungspunkten insgesamt 81 Untersuchungen. Entnommen wurden hierbei ca. 3000 HydropsycheLarven, wovon bei 2303 Larven die Bestimmung der Körperlänge (Labrum - 10. Abdominalsegment)erfolgte.
Die Zugehörigkeit zu den einzelnen Larvenstadien bestimmt NOVÁK (1960) bei Anabolia mit Hilfe der Kopfkapselbreite; SZCZESNY (1975) bedient sich bei den sechs von ihm untersuchten Trichopterenarten der Kopfkapsellänge (Rhyacophila) und der Kopfkapselbreite (u.a. auch Hydropsyche pellucidula). JONES (1976) nimmt bei seinen Untersuchungen zur Biologie von Tinodes waeneri L. ebenfalls eine Messung der Kopfkapselbreite vor und weist aber auch gleichzeitig auf die enge Beziehung zwischen Kopfkapselbreite (Larvenstadium) und Larvenlänge hin.
Zur Feststellung der Larvenstadien maß ich anstatt der relativ ungenau zu ermittelnden Kopfkapselbreite bei 120 Larven die Länge des Clypeus. Verglichen mit der Larvenlänge ergab sich die in Tabelle Nr. 24 dargestellte Abhängigkeit. Auf Grund der leicht und schnell vorzunehmenden Längenmessungen konnte nun somit eine Zuordnung zu den Larvenstadien erfolgen.
An dieser Stelle ist anzumerken, daß es bei den Grenzwerten der Körperlängen zu Überlappungen der einzelnen Larvenstadien kommen kann.

| | | Biesenberg | | | | | Bauer | | | | | Auslauf | | | | | Bahndamm | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Monat | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. | 1. | 2. | 3. | 4. | 5. |
| 1973 | Febr. | 0 | 48,2 | 41,3 | 6,9 | 3,4 | 50,0 | 25,0 | 25,0 | 0 | 0 | 0 | 22,2 | 51,9 | 11,1 | 11,1 | | | | | |
| | März | 0 | 48,0 | 32,0 | 8,0 | 12,0 | 35,7 | 28,5 | 35,8 | 0 | 0 | 0 | 0 | 50,0 | | 50,0 | 0 | 8,7 | 73,9 | 8,7 | 8,7 |
| | April | | | | | | 0 | 59,2 | 29,6 | 7,4 | 3,7 | | | | | | 0 | 28,5 | 14,3 | 57,1 | 0 |
| | Mai | | | | | | 0 | 12,2 | 22,0 | 56,1 | 7,3 | 0 | 0 | 4,0 | 36,0 | 44,0 | 0 | 5,1 | 23,2 | 56,3 | 15,4 |
| | Juni | 0 | 0 | 14,8 | 55,6 | 29,6 | 0 | 0 | 41,6 | 58,4 | 0 | 28,3 | 71,7 | 0 | 1,0 | 0 | 12,0 | 81,3 | 1,3 | 5,3 | 0 |
| | Aug. | 0 | 33,3 | 46,1 | 12,8 | 7,7 | 11,1 | 16,6 | 27,7 | 38,8 | 5,5 | 7,1 | 47,6 | 38,1 | 2,4 | 4,8 | 8,9 | 42,2 | 33,3 | 8,9 | 6,6 |
| | Sept. | 0 | 18,8 | 9,4 | 54,5 | 18,8 | 0 | 20,5 | 53,8 | 20,5 | 5,1 | 0 | 12,0 | 20,0 | 48,0 | 16,0 | 8,1 | 32,4 | 29,7 | 16,2 | 13,5 |
| | Nov. | 7,4 | 59,2 | 22,2 | 11,1 | 0 | 0 | 32,0 | 32,0 | 24,0 | 12,0 | 0 | 6,6 | 13,3 | 53,3 | 26,6 | 0 | 41,0 | 28,2 | 28,2 | 7,7 |
| | Dez. | | | | | | 2,1 | 47,8 | 34,8 | 8,7 | 6,5 | | | | | | | | | | |
| 1974 | Febr. | 0 | 27,3 | 36,4 | 27,3 | 13,6 | 0 | 11,9 | 14,3 | 40,5 | 33,3 | 0 | 0 | 40,0 | 40,0 | 20,0 | 0 | 0 | 50,0 | 25,0 | 25,0 |
| | März | | | | | | 0 | 11,1 | 40,7 | 33,3 | 14,8 | 0 | 0 | 25,0 | 50,0 | 25,0 | 0 | 0 | 41,6 | 33,3 | 25,0 |
| | April | | | | | | 0 | 0 | 25,0 | 50,0 | 25,0 | 0 | 0 | 0 | 36,4 | 63,6 | 0 | 0 | 3,3 | 23,3 | 73,3 |
| | Mai | 0 | 0 | 25,0 | 62,5 | 12,5 | 0 | 0 | 0 | 22,2 | 77,8 | | | | | | 0 | 0 | 0 | 16,6 | 83,3 |
| | Juni | 0 | 0 | 0 | 12,5 | 87,5 | 0 | 0 | 0 | 14,3 | 85,7 | | | | | | | | | | |
| | Juli | 0 | 5,9 | 23,0 | 41,2 | 29,4 | 33,3 | 56,7 | 3,3 | 6,7 | 0 | 0 | 47,8 | 8,7 | 30,4 | 13,0 | 22,7 | 13,6 | 0 | 9,1 | 54,5 |
| | Aug. | 18,8 | 50,0 | 29,2 | 0 | 2,0 | 14,8 | 55,6 | 25,9 | 3,7 | 0 | 8,3 | 8,3 | 75,0 | 8,3 | 0 | 0 | 16,1 | 66,1 | 14,3 | 3,5 |
| | Okt. | 0 | 25,0 | 41,6 | 22,9 | 12,5 | | | | | | 0 | 0 | 33,3 | 23,8 | 42,9 | 7,1 | 42,1 | 33,3 | 21,1 | 21,1 |
| 1975 | Febr. | 0 | 8,3 | 79,1 | 8,3 | 4,2 | 0 | 11,5 | 38,5 | 11,5 | 38,5 | 0 | 0 | 7,1 | 21,4 | 71,4 | 4,9 | 9,8 | 51,2 | 12,2 | 31,7 |
| | März | 0 | 18,2 | 22,2 | 4,5 | 55,0 | 0 | 6,1 | 33,3 | 15,2 | 45,5 | 0 | 0 | 14,3 | 57,1 | 28,6 | 0 | 0 | 27,7 | 16,6 | 55,6 |
| | Mai | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 6,3 | 6,3 | 75,0 | 12,6 | 0 | 0 | 25,0 | 75,0 | 0 | 0 | 0 | 25,9 | 7,4 | 66,6 |
| | Juni | 0 | 0 | 0 | 37,5 | 62,5 | 0 | 0 | 7,1 | 28,6 | 64,2 | 0 | 0 | 0 | 80,0 | 20,0 | 0 | 29,4 | 11,8 | 47,0 | 11,8 |
| | Juli | | | | | | 12,6 | 36,4 | 22,7 | 9,1 | 18,2 | | | | | | 42,8 | 28,5 | 28,5 | 14,3 | 0 |
| | Aug. | 26,4 | 47,1 | 23,5 | 0 | 3,0 | 0 | 43,8 | 43,8 | 6,2 | 6,2 | 0 | 46,2 | 34,6 | 11,5 | 7,7 | 0 | 43,8 | 37,5 | 6,3 | 12,5 |
| | Sept. | 9,1 | 9,1 | 54,5 | 9,1 | 18,2 | 0 | 26,3 | 57,9 | 15,8 | 0 | 9,1 | 63,6 | 27,3 | 0 | 0 | 0 | 20,0 | 45,7 | 28,5 | 5,7 |

Tabelle Nr. 25 : Die Zusammensetzung der Hydropsyche-Populationen an den vier Untersuchungspunkten von 1973 bis 1975. Angegeben ist jeweils der Prozentsatz der Population, der sich im 1. bis 5. Larvenstadium befindet.

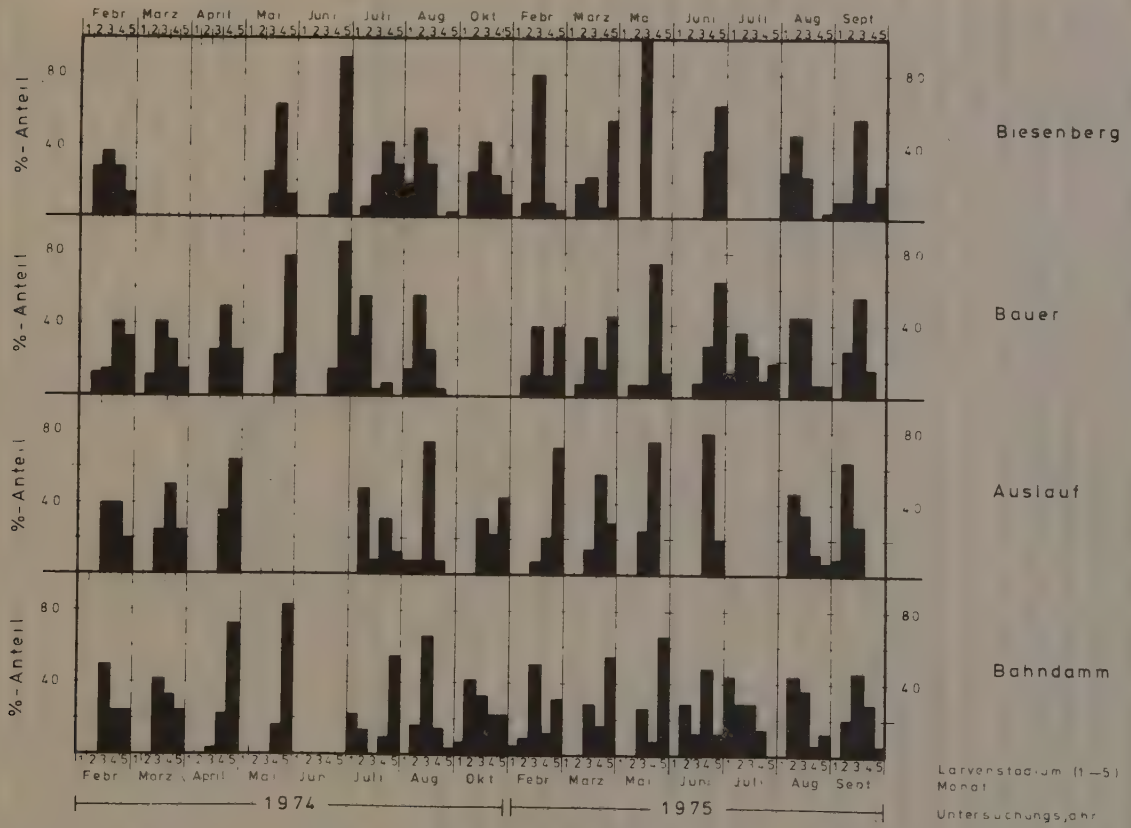



Abb Nr 24 Zusammensetzung (1 - 5. Larvenstadium) der Hydropsychepopulationen an den bekannten vier Untersuchungspunkten zwischen 1974 und 1975

| Larvenstadium | Clypeuslänge | Körperlänge |
|---|---|---|
| 1 | 0,4 | - 4,9 |
| 2 | 0,6 - 0,8 | 5,0 - 8,9 |
| 3 | 1,0 - 1,2 | 9,0 - 12,9 |
| 4 | 1,5 - 1,6 | 13,0 - 15,9 |
| 5 | 1,8 - 2,1 | 16,0 - 20,0 |

Tabelle Nr. 24: Beziehungen zwischen Larvenstadium, Clypeus- und Körperlänge. Angaben in Millimeter.

In der Tabelle Nr. 25 sind die Hydropsyche-Populationen an den vier Untersuchungspunkten bezüglich ihrer Zusammensetzung (Angaben in %) nach Larvenstadien aufgeführt.
Die Ergebnisse der Jahre 1974 und 1975 sind der besseren Übersicht halber in der Abbildung Nr. 24 zusammengefaßt. Generell ergibt sich für Hydropsyche an allen vier Untersuchungspunkten ein einjähriger Entwicklungskreislauf. In den Monaten Mai und Juni 1974 setzten sich die Populationen hauptsächlich aus Larven des vierten und fünften Stadiums zusammen - aus Tieren, die kurz vor der Verpuppung und damit vor dem Imaginalstadium standen. Die ersten Puppengehäuse konnten oberhalb des Kraftwerkes Ende Juni registriert werden. In den folgenden Monaten Juli und August waren erwartungsgemäß die ersten Larvenstadien wieder vertreten. Im Oktober befanden sich die Larven am "Biesenberg" größtenteils im dritten Stadium (42%). Im Februar des darauffolgenden Jahres wurden an diesem Punkt immerhin knapp 80 % im dritten Larvenstadium nachgewiesen. Einen Monat später, im März 1975, traten an den Punkten "Biesenberg" und "Bauer" schon in großem Maße Larven des fünften Stadiums auf. Bei der in der ersten Maiwoche vorgenommenen Bestandsaufnahme überraschte, daß an beiden Punkten keine Larven des fünften Stadiums mehr vorkamen.
Die Ursache dieses Phänomens liegt meiner Ansicht nach in dem plötzlichen Temperaturanstieg des Lennewassers nach dem Rückgang des erhöhten Wasserstandes. So lag die Lennetemperatur am 7.5. 1975, am Tag der Probenahme, bei 15,8 °C, während sie zwölf Tage vorher, am 26.4.1975 noch bei 7,7 °C lag.
Dieser für natürliche Verhältnisse zu plötzliche Temperaturanstieg mag besonders an dem thermisch völlig unbelasteten "Biesenberg" zu einer erhöhten Drift bei den älteren Hydropsyche-Larven geführt

haben.
Im Juni waren dann wie im Vorjahr wieder ausschließlich Larven der beiden vorletzten Stadien zu finden. Diese Larven verpuppten sich Ende Juni, so daß im August die Junglarven der neuen Generation nachgewiesen wurden. Als Resultat der laufenden Erwärmung befand sich an dem thermisch stark belasteten Untersuchungspunkt "Auslauf" der Großteil der Larven bis zu drei Monaten eher (1975) im letzten Larvenstadium als oberhalb des Kraftwerkes. Im April 1974 waren rund 64 % der Larven schon im fünften Stadium, während es am Punkt "Bauer" knapp 25 % waren. Die ersten Puppen und Imagines registrierte ich 1974 am Auslauf in der zweiten Maiwoche. Signifikant war der Unterschied zwischen der Auslaufpopulation und der Biesenbergpopulation im Februar des Jahres 1975. Während sie am "Biesenberg" zu knapp 80 % aus Larven des dritten Stadiums bestand, setzte sie sich am "Auslauf" aus ebensovielen Larven des letzten Stadiums zusammen.
Innerhalb der Untersuchung vom 11.2. 1975 fiel zwischen 13 und 15 Uhr der Wasserstand der Lenne um 30 Zentimeter, so daß sich am "Auslauf" eine besonders gute Möglichkeit der Erforschung des Ufersaumes bot. Rund 70 % der gefundenen Hydropsyche-Individuen (inklusive der auf den Platten gefundenen) hatten sich bereits verpuppt. Zahlreiche frisch verlassene Puppengehäuse und vier beim Schlüpfvorgang verendete Hydropsyche-Imagines konnten an diesem Tag beobachtet werden. Die Auslauftemperatur lag bei 15,0 °C, die Einlauftemperatur bei 3,8 °C; die mittlere Lufttemperatur betrug an diesem Tag 5,8 °C. Weitere Angaben zur Flugzeit der Imagines sind dem folgenden Kapitel zu entnehmen. Hydropsyche-Larven der ersten drei Stadien beobachtete ich am "Auslauf" jedoch erst im August und September.
Die Zusammensetzung der Hydropsyche-Population am Untersuchungspunkt "Bahndamm" entsprach 1974 in etwa der der Population vom "Biesenberg" und "Bauer". Auffallend war im Mai 1975 der hohe Anteil der Larven des letzten Stadiums (67%), die sich Anfang Juni verpuppten. Im Juli und August waren wie an allen Punkten so auch hier in hohem Maße die Larven der nächsten Generation zu verzeichnen.
In der Tabelle Nr. 26 erfolgt eine Zusammenfassung der mittleren Körperlängen der Hydropsyche-Larven. Graphisch dargestellt sind deren Verlauf am "Biesenberg" und "Auslauf" in der Abbildung Nr.25.

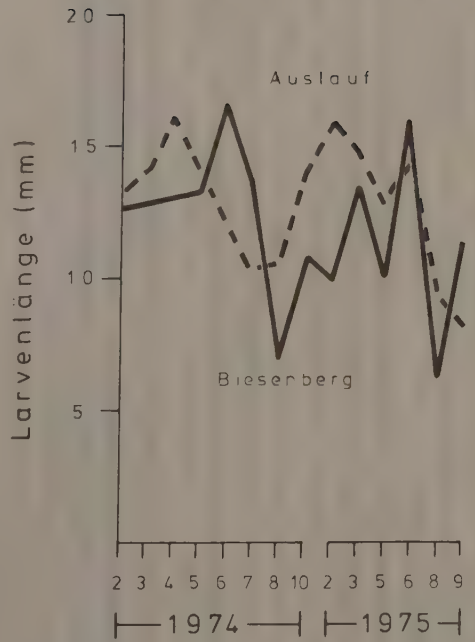



Abb. Nr. 25 Mittlere Larvenlänge von Hydropsyche an den Punkten Biesenberg und Auslauf

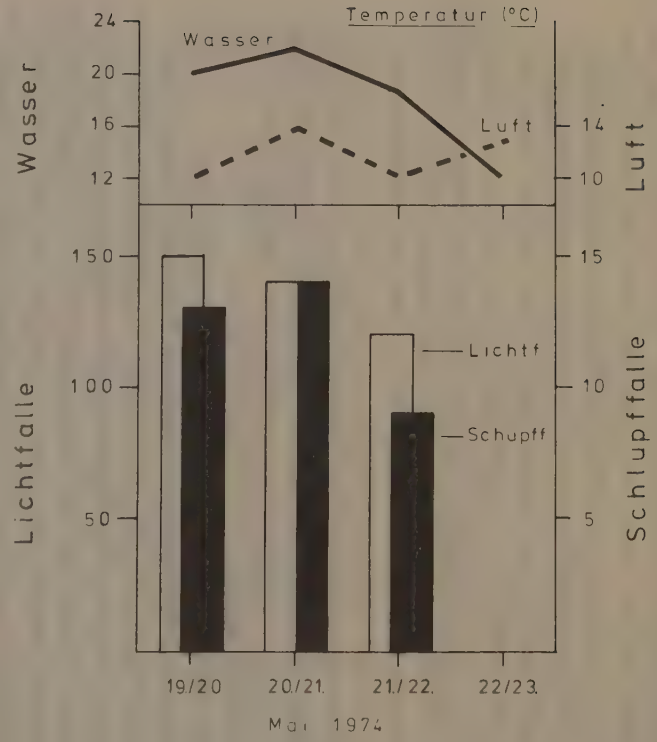



Abb. Nr 26 Fangquote (Hydropsyche-Imagines / Nacht) am Punkt Münzwerkstatt. Getangen mit Licht- und Schlupffalle

Die Zusammensetzung der Population am "Auslauf" im April 1974 aus Larven des vierten und fünften Stadiums spiegelte sich in der durchschnittlichen Körperlänge von 16 Millimetern wider. Diese Körperlänge erreichten die Larven, wie oben schon erwähnt, am Punkt "Biesenberg" erst zwei Monate später.

| | | Untersuchungspunkte | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Jahr | Monat | Biesenberg | Bauer | Auslauf | Bahndamm |
| 1973 | Febr. | 8,4 | 8,7 | 10,7 | |
| | März | 10,0 | 10,4 | 14,8 | 9,4 |
| | April | | 9,1 | | 12,0 |
| | Mai | | 12,5 | 15,5 | 13,4 |
| | Juni | 14,5 | 12,8 | 5,2 | 4,8 |
| | Aug. | 12,3 | 11,4 | 8,1 | 8,9 |
| | Sept. | 12,7 | 10,9 | 12,5 | 9,1 |
| | Nov. | 8,4 | 11,0 | 12,6 | 11,0 |
| | Dez. | | 9,6 | | |
| 1974 | Febr. | 12,6 | 13,7 | 13,2 | 12,6 |
| | März | | 11,9 | 14,0 | 13,3 |
| | April | | 14,0 | 16,1 | 16,5 |
| | Mai | 13,3 | 16,9 | | 16,8 |
| | Juni | 16,6 | 16,7 | | |
| | Juli | 13,6 | 5,8 | 10,3 | 12,8 |
| | Aug. | 6,9 | 7,4 | 10,4 | 10,4 |
| | Okt. | 10,9 | | 13,9 | 12,7 |
| 1975 | Febr. | 9,7 | 12,5 | 16,0 | 13,0 |
| | März | 13,5 | 13,9 | 14,7 | 15,1 |
| | Mai | 10,0 | 13,8 | 12,8 | 15,6 |
| | Juni | 15,9 | 16,4 | 15,0 | 11,6 |
| | Juli | | 9,8 | | 7,2 |
| | Aug. | 6,3 | 9,6 | 9,4 | 9,5 |
| | Sept. | 11,5 | 9,7 | 8,0 | 11,4 |

Tabelle Nr. 26: Mittlere Larvenlänge von Hydropsyche pellucidula an den vier bekannten Untersuchungspunkte in den Jahren 1973 bis 1975. Angaben in Millimeter.

Der Unterschied von 3,5 mm im August 1974 wurde bis zum Februar 1975 auf mehr als 6 mm zugunsten der Larven am "Auslauf" ausgebaut, die mit einer mittleren Körperlänge von 16 mm rund 6 mm länger als die Larven oberhalb des Kraftwerkes waren. Der Zeitraum, in dem sich die Wassererwärmung extrem auf die Larvalentwicklung auswirkte, fiel auf die Wintermonate, in denen die Larven oberhalb des Kraftwerkes ein geringes Wachstum aufwiesen, während die Larven im warmen Auslaufwasser eine erhebliche Gewichtszunahme verzeichneten (siehe Tabelle Nr. 27 und Abbildung Nr. 27 a).

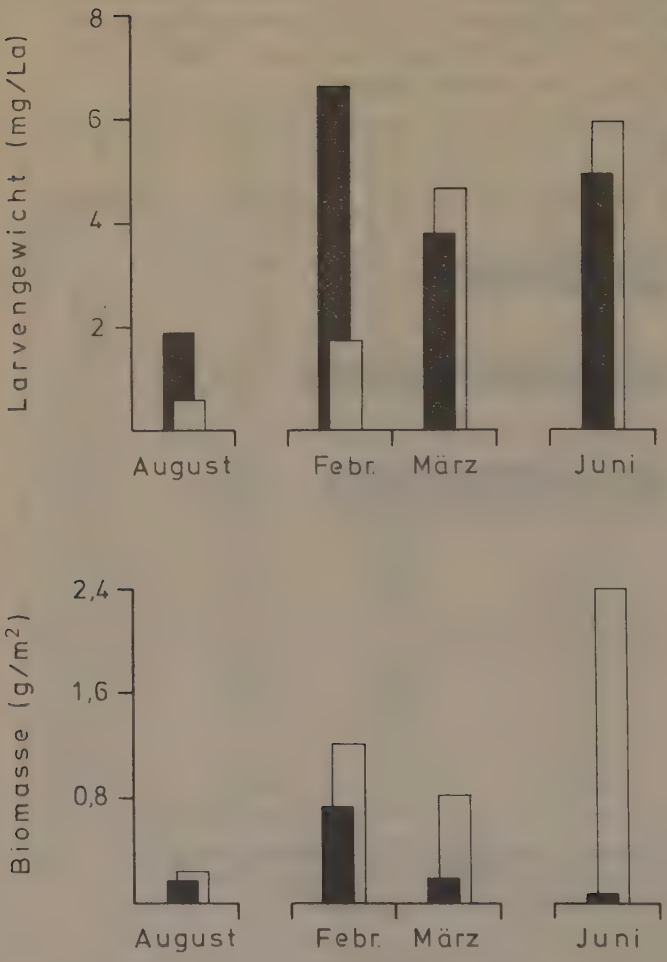



Abb. Nr. 27a,b Larvengewicht und Biomasse von Hydropsyche an den Punkten Biesenberg (weiß) und Auslauf (schwarz) von August 1974 bis Juni 1975

Die Gewichtszunahme betrug am "Auslauf" von August 1974 bis zum Februar 1975 pro Larve rund 4,7 mg (entsprechend einer Zuwachsrate um das 3,4 fache), dagegen machte im gleichen Zeitraum oberhalb des Kraftwerkes die Zunahme nur 1,05 mg (entsprechend einer Zuwachsrate um das 2,6 fache) aus. Von Februar bis März 1975 lag die Gewichtszunahme am "Biesenberg" bei 2,9 mg (Zuwachsrate um das 2,7 fache). Innerhalb desselben Zeitraumes verringerte sich das Gewicht der Hydropsyche-Larven am Untersuchungspunkt Auslauf durch das Ausscheiden (Emergenz) der älteren Larven.

| Datum | Untersuchungs-punkt | Zahl der Larven | Proben-gewicht | Indiv.-gewicht | Biomasse |
|---|---|---|---|---|---|
| 30.8.74 | Biesenberg | 48 | 31,7 | 0,66 | 0,242 |
| | Auslauf | 23 | 45,3 | 1,97 | 0,189 |
| 11.2.75 | Biesenberg | 61 | 104,31 | 1,71 | 1,214 |
| | Auslauf | 19 | 126,16 | 6,64 | 0,743 |
| 18.3.75 | Biesenberg | 42 | 193,62 | 4,61 | 0,811 |
| | Auslauf | 23 | 84,64 | 3,68 | 0,206 |
| 17.6.75 | Biesenberg | 32 | 190,10 | 5,94 | 2,376 |
| | Auslauf | 35 | 171,90 | 4,91 | 0,196 |

Tabelle Nr. 27: Trockengewicht (105 °C; mg) von Hydropsyche-Larven oberhalb (Biesenberg) und unterhalb (Auslauf) des Kraftwerkes, sowie die Biomasse ( g Trockengewicht/$m^2$) der Hydropsyche-Populationen.

Von März bis Juni lagen an beiden Punkten die gleichen Zuwachsraten vor. In der Tabelle Nr. 27 ist ferner die Hydropsyche-Biomasse angegeben, deren zeitlicher Verlauf in der Abbildung Nr. 27 b dargestellt ist. Die Biomasse war zu jedem Zeitpunkt am "Biesenberg" größer als am "Auslauf". Die größte Zunahme am "Auslauf" lag von August bis Februar vor. Dagegen war eine verstärkte Zunahme der Biomasse am "Biesenberg" in der Zeit von März bis Juni festzustellen. Auf Grund der geringen Abundanz (Emergenz) am Auslauf war die Biomasse im Juni am "Biesenberg" rund 12 mal so groß wie am Auslauf.

2.4.3.8 Flugzeiten der Trichopteren im Untersuchungsgebiet

Wie bereits in Kapitel 1.1 dargestellt, konnte in zahlreichen Laborversuchen nachgewiesen werden, daß erhöhte Wassertemperaturen das Wachstum von zahlreichen Insektenarten beschleunigt und so die

Schlüpf- und Flugzeiten der Imagines vorverlegt werden (siehe z.B. NEBEKER 1971 a,b,c).
Die auf Grund dieser Tatsache erhobenen Befürchtungen (RUPPRECHT 1975), daß durch ein vorzeitiges Schlüpfen in einer unpassenden Jahreszeit es zu einer Gefährdung, bzw. zum Aussterben von Arten kommen kann, bedarf noch der Unterstützung durch Freilanduntersuchungen. Schon während der Voruntersuchungen im Jahr 1973 hatte sich die in Kapitel 2.4.3.7 dargestellte Wachstumsbeschleunigung von Hydropsyche-Larven im warmen Wasser gezeigt. Um zu erfahren, wie sich die Wachstumsbeschleunigung auf die Flugzeit von Hydropsyche-Imagines auswirkt, wurden 1974 und 1975 Lichtfallen und teilweise auch Imaginesschlüpffallen eingesetzt. Da bei den Fängen nicht der tageszeitliche Aktivitätsverlauf registriert werden sollte, ist der Einsatz von Lichtfallen aus methodischer Sicht gerechtfertigt (MÜLLER und ULFSTRAND 1970).
1974 wurde die Flugaktivität von Hydropsyche pellucidula und Phryganea striata, 1975 noch zusätzlich die von Polycentropus flavomaculatus, Limnophilus rhombicus und Stenophylax permistus registriert. Aus arbeitstechnischen Gründen konnte nicht auf die Chironomiden- und Baetidenflugzeiten eingegangen werden. Nachfolgend wird ein Überblick über die Flugzeiten der einzelnen Arten gegeben.

Untersuchungsjahr 1974
Die Untersuchungen dauerten in diesem Jahr vom 15. Mai bis zum 15. November. Die erste Lichtfalle wurde 200 Meter oberhalb des Kühlwasser-Einlaufs am Untersuchungspunkt "Einlauf", die zweite unterhalb des Werkes am Punkt "Münzwerkstatt" installiert (siehe hierzu Abb. 2,14 und 15).

Hydropsyche pellucidula CURT.
Die Lebensdauer dieser sehr dämmerungs- und nachtaktiven Hydropsyche-Imagines gibt SCHUHMACHER (1970) mit 7 bis 14 Tagen an. 1974 betrug die Gesamtzahl der gefangenen Hydropsyche-Imagines 14359; davon wurden 9824 an der "Münzwerkstatt" und 4535 am Punkt "Einlauf" gefangen. Die Ursache der höheren Fangausbeute am Punkt "Münzwerkstatt" ist u.a. in dem größeren Einzugsgebiet der freistehenden Lichtfalle zu suchen, wohingegen am "Einlauf" die Leistung der Falle durch angrenzenden Baumbestand geschmälert wurde. Der Anteil der Weibchen war in beiden Fangausbeuten mit 95,3%, bzw. 95,9% nahezu gleich hoch, wie aus der Tabelle Nr. 28 zu ersehen ist. Bei einem Kontrollversuch mit 30 im Labor aufgezogenen Imagines lag

der Anteil der Weibchen bei 83,3%. Innerhalb der Trichopteren sind die Geschlechterverhältnisse von Art zu Art sehr unterschiedlich (MALICKY 1976). Für viele Limnephiliden wurde durchweg ein Weibchenanteil von unter 50% festgestellt (CRICHTON 1971), während der gleiche Autor bei verschiedenen Hydropsyche-Arten einen Anteil bis zu 91% nachweisen konnte (CRICHTON 1960, zit. nach SCHUHMACHER 1970). Bei den Untersuchungen von SCHUHMACHER (1970) lag der Weibchenanteil bei der Art H. instabilis bei etwa 80%.

| | Lichtfalle | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Einlauf | | Münzwerkstatt | |
| Trichopterenart | Gesamt | % oo | Gesamt | % oo |
| Hydropsyche pellucidula | 4535 | 95,9 | 9824 | 95,3 |
| Phryganea striata | 89 | 26,9 | 108 | 26,9 |

Tabelle Nr. 28: Zusammensetzung der Hydropsyche- und Phryganea-Lichtfänge 1974

Es muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß hier unter Flugaktivität nichts anderes gemeint ist als die Anzahl der pro Woche gefangenen Trichopterenimagines. Dabei kann es sich um so eben geschlüpfte Imagines, wie auch um Tiere handeln, die kurz vor dem Absterben stehen. Diese Tatsache ist aber wegen der relativ kurzen Lebensdauer bei dieser Untersuchung unbedeutend. Der zeitliche Verlauf der Flugaktivität ist von zahlreichen abiotischen Faktoren abhängig. Plötzliche Kälteeinbrüche, starke Niederschläge und Windbewegungen können sich u.U. nachteilig auf die Flugaktivität und die Flugzeit auswirken. Bei normalen Verhältnissen wird die Flugzeit und die Aktivität von der Emergenz (hier im Sinne SCHWERDTFEGERs 1975) bestimmt. Der Zeitpunkt der Verpuppung und des Schlüpfens der Imagines wird aber bei den meisten aquatischen Insekten - so auch bei Hydropsyche pellucidula - von der Wassertemperatur gesteuert, so daß diese letztlich auch die Flugzeiten beeinflusst. Die Abbildung Nr. 28 zeigt die Flugaktivität von Hydropsyche unterhalb und oberhalb des Kraftwerkes im Verlauf der Sommermonate des Jahres 1974.
Bemerkenswert ist zum einen, daß am aufgeheizten Punkt "Münzwerkstatt" bereits Mitte Mai bis Mitte Juni eine relativ hohe Flugaktivität vorlag, während entsprechende Werte oberhalb des Kraft-

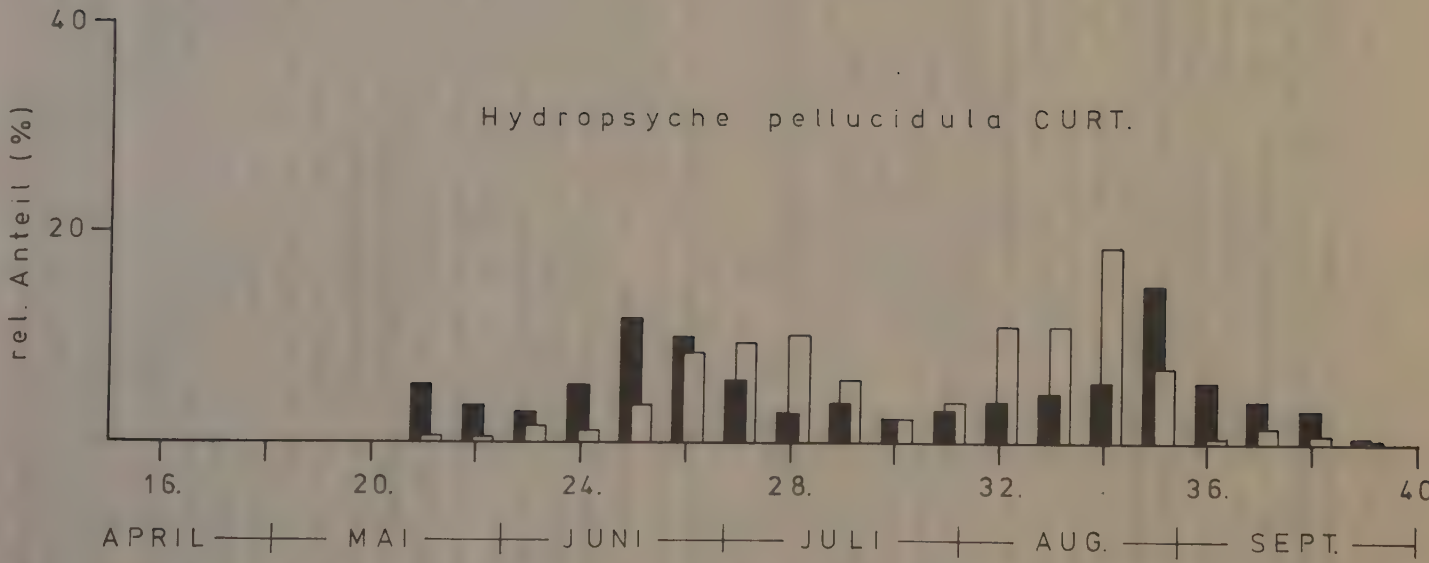



Abb. Nr. 28 Flugaktivität von H. pellucidula oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1974

werkes erst gegen Ende Juni-Anfang Juli registriert wurden. Zum anderen fällt auf, daß sich die Flugaktivität an beiden Stellen über einen längeren Zeitraum ohne signifikanten Höhepunkt erstreckte.

| Woche | 1974 | | | 1975 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Niederschlag | Lufttemp. | Lennetemp. | Niederschlag | Lufttemp. | Lennetemp. |
| 20 | 11,4 | 13,4 | 11,9 | 7,1 | 11,8 | 13,0 |
| 21 | 24,0 | 12,9 | 12,8 | 0,9 | 11,0 | 13,9 |
| 22 | 8,7 | 12,1 | 12,5 | 0,2 | 12,1 | 10,7 |
| 23 | 27,0 | 13,5 | 12,4 | 24,1 | 9,6 | 11,3 |
| 24 | 15,8 | 13,4 | 12,1 | 0,4 | 17,6 | 14,9 |
| 25 | 7,6 | 15,0 | 14,3 | 32,2 | 15,0 | 15,0 |
| 26 | 42,6 | 17,0 | 14,2 | 41,0 | 16,0 | 16,4 |
| 27 | 45,8 | 15,4 | 14,4 | 7,2 | 15,1 | 16,1 |
| 28 | 29,7 | 15,7 | 13,3 | 35,2 | 19,3 | 19,1 |
| 29 | 16,3 | 14,6 | 14,0 | 59,8 | 18,6 | 17,7 |
| 30 | 32,8 | 15,0 | 14,7 | 23,4 | 16,8 | 16,2 |
| 31 | 20,9 | 17,2 | 15,9 | 0,0 | 18,8 | 16,5 |
| 32 | 21,5 | 14,6 | 15,5 | 0,0 | 21,6 | 17,1 |
| 33 | 8,0 | 18,4 | 13,5 | 5,0 | 19,3 | 15,2 |
| 34 | 0,0 | 13,4 | 12,6 | 33,4 | 16,3 | 13,7 |
| 35 | 11,7 | 15,1 | 11,9 | 0,3 | 14,7 | 14,3 |
| 36 | 16,5 | 14,9 | 12,6 | 2,4 | 15,9 | 14,3 |
| 37 | 13,0 | 14,7 | 12,1 | 21,6 | 13,6 | 15,1 |
| 38 | 12,3 | 12,2 | 12,2 | 9,9 | 14,1 | 13,9 |
| 39 | 46,3 | 9,7 | 9,7 | 25,7 | 13,1 | 13,7 |
| 40 | 17,5 | 6,6 | 8,4 | 27,3 | 13,7 | 13,8 |

Tabelle Nr. 29: Niederschlag(mm; Wochensummen), Luft- und Lennetemperaturen (°C; Wochenmittel). Zusammengestellt nach Angaben des Kraftwerkes Elverlingsen.

Ein Vergleich mit den in der Tabelle Nr. 29 dargestellten Niederschlagsmengen, Luft- und Lennetemperaturen läßt vermuten, daß hierfür hauptsächlich die Lennetemperatur verantwortlich war, die über einen längeren Zeitraum relativ konstant und niedrig blieb.(Vergleiche hierzu die entsprechenden Daten des Jahres 1975). Inwieweit die Wassertemperatur die Schlüpfaktivität der Imagines steuert, konnte im Mai 1974 unterhalb des Kraftwerkes am Punkt "Münzwerkstatt" beobachtet werden.
Ca. 300 m oberhalb des Punktes hatte ich seit dem 15. Mai im Fließbereich an der linken Uferseite eine Imaginesschlüpffalle installiert, die ebenso wie die Lichtfalle "Münzwerkstatt" täglich kontrolliert wurde. Vom 19.5 bis zum 20.5. stieg die Lennetemperatur von 9,9 °C auf 21,9 °C an, um dann in den folgenden Tagen auf 12,0 °C abzufallen. Die Lufttemperatur in diesem nieder-

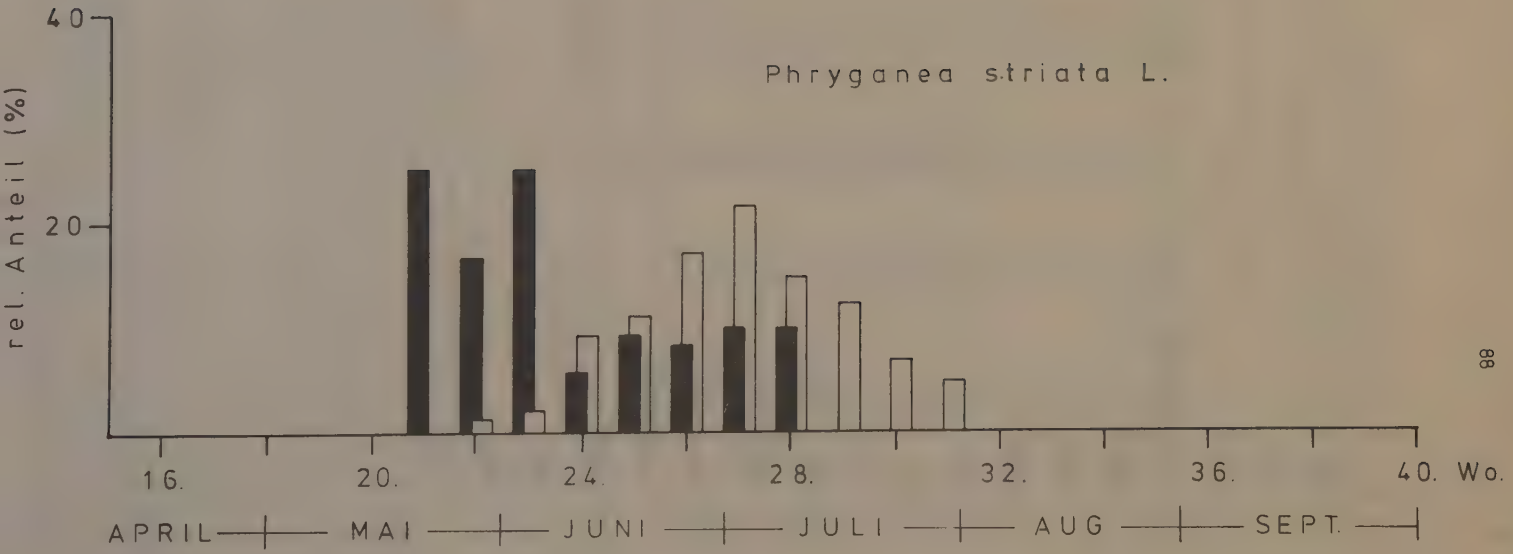





Abb. Nr. 29 Flugaktivität von P striata oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1974

schlagsfreien Zeitraum lag zwischen 10 °C und 14 °C. Die Fangresultate der Licht- und Schlüpffalle sind in der Abbildung Nr.26 dargestellt. Es zeigt sich, daß nach dem raschen Temperaturfall vom 22. auf den 23.5.74 um 8 °C die Schlüpfrate von 9 Imagines auf 0 Imagines herabfiel, obwohl in dem Einzugsbereich der Schlüpffalle noch schlüpfreife Tiere in ihren Puppengehäusen vorgefunden wurden. Entsprechend war der Verlauf der Fangkurve bei der Lichtfalle: von 130 Individuen, gefangen in der Nacht vom 21./22. fiel die Fangkurve auf ganze drei Imagines in der folgenden Nacht ab, trotzdem die meteorologischen Bedingungen unverändert waren.

Phryganea striata L.

An Imagines wurden 1974 insgesamt 197 Tiere gefangen, davon 89 am "Einlauf" und 108 am Punkt "Münzwerkstatt". Der Anteil der Weibchen war mit 26,9% an beiden Punkten gleich und - verglichen mit Hydropsyche pellucidula - sehr gering.
Die Flugperiode von Phryganea striata dauerte oberhalb des Kraftwerkes von Ende Mai bis Anfang August und ihr Verlauf stellt fast den einer Normalverteilung dar. Die maximale Flugzeit wurde Ende Juni (27.Woche) verzeichnet, wie aus der Abbildung Nr. 29 hervorgeht. Dagegen wurden am Punkt "Münzwerkstatt" schon Mitte Mai bis Anfang Juni die meisten Imagines registriert. Von der 21. Woche bis zur 23. Woche waren es insgesamt 67%, während um diese Zeit oberhalb des Kraftwerkes erst die Flugzeit begann.

Untersuchungsjahr 1975

Eingesetzt wurden die Lichtfallen von der ersten Märzwoche bis Mitte November 1975. Unterhalb des Kraftwerkes wurde die Lichtfalle wieder an ihrem alten Standort an der Münzwerkstatt installiert, während ich die Lichtfalle oberhalb des Kraftwerkes auf Grund umfangreicher Baumaßnahmen am alten Standort nun am Meßpunkt "Biesenberg", direkt unterhalb des Meßinstrumentes aufbaute.

Hydropsyche pellucidula CURT.

Gefangen wurden 1975 insgesamt 30 295 Imagines, wovon mehr als zwei Drittel - 21334 - in die Falle "Biesenberg" und 8961 in die Falle "Münzwerkstatt" eingingen.

Text weiter auf Seite 95

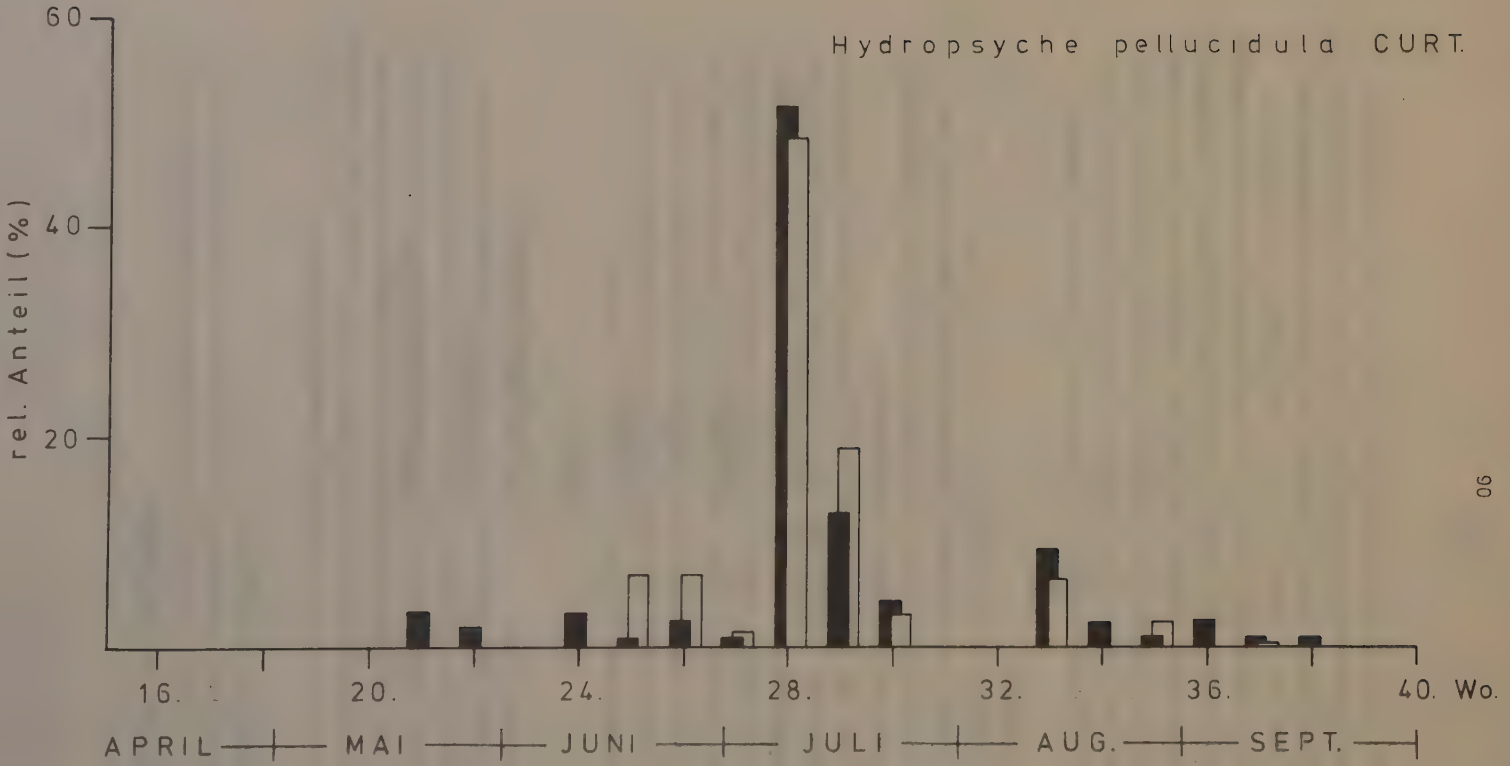



Abb. Nr. 30 Flugaktivität von H. pellucidula oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1975

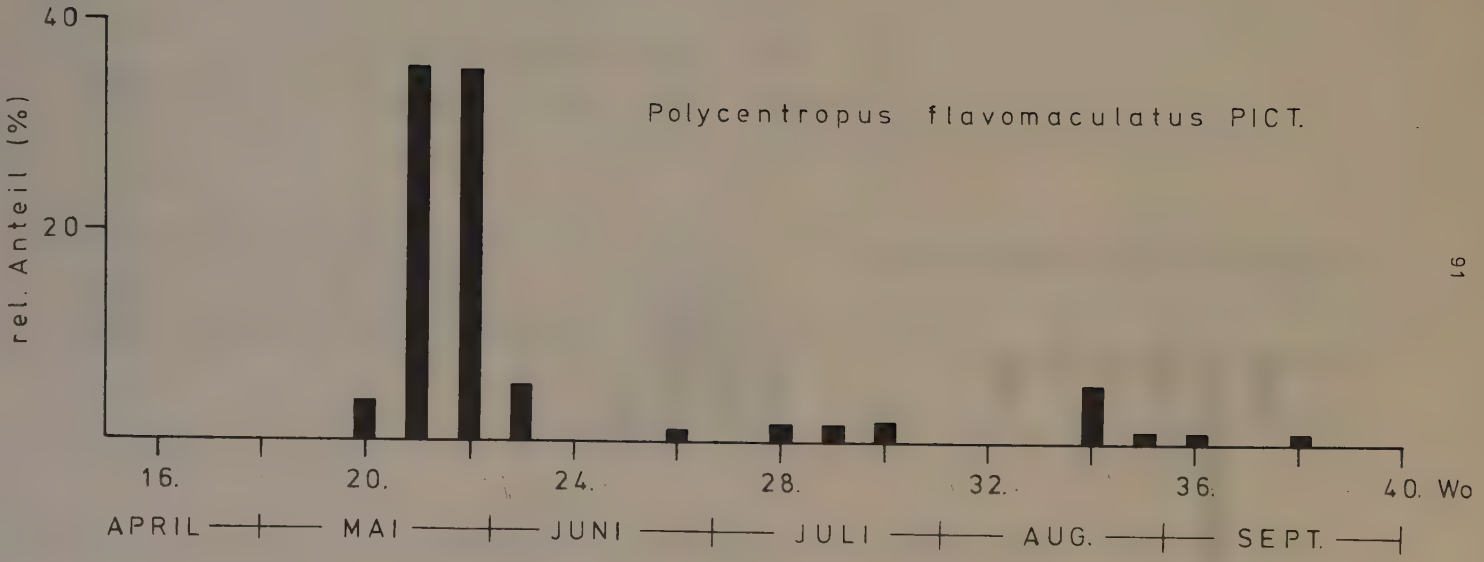
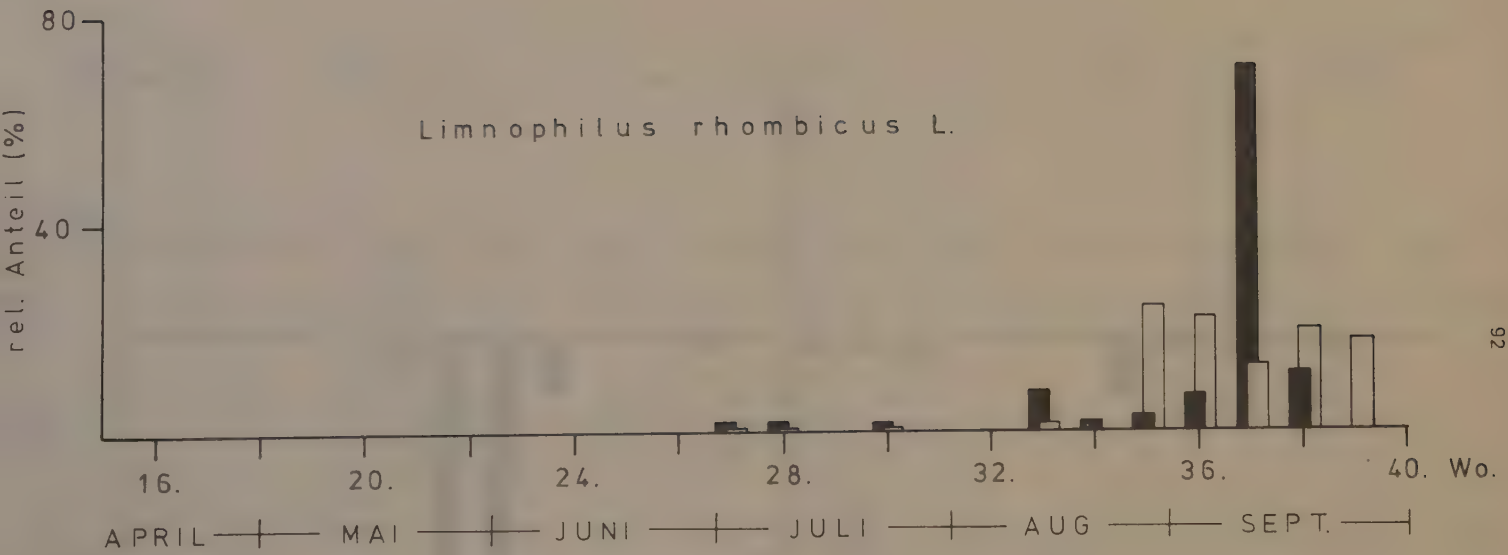





Abb. Nr. 31 Flugaktivität von P. flavomaculatus unterhalb KW - 1975




92

Abb. Nr. 32 Flugaktivitat von L. rhombicus oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1975

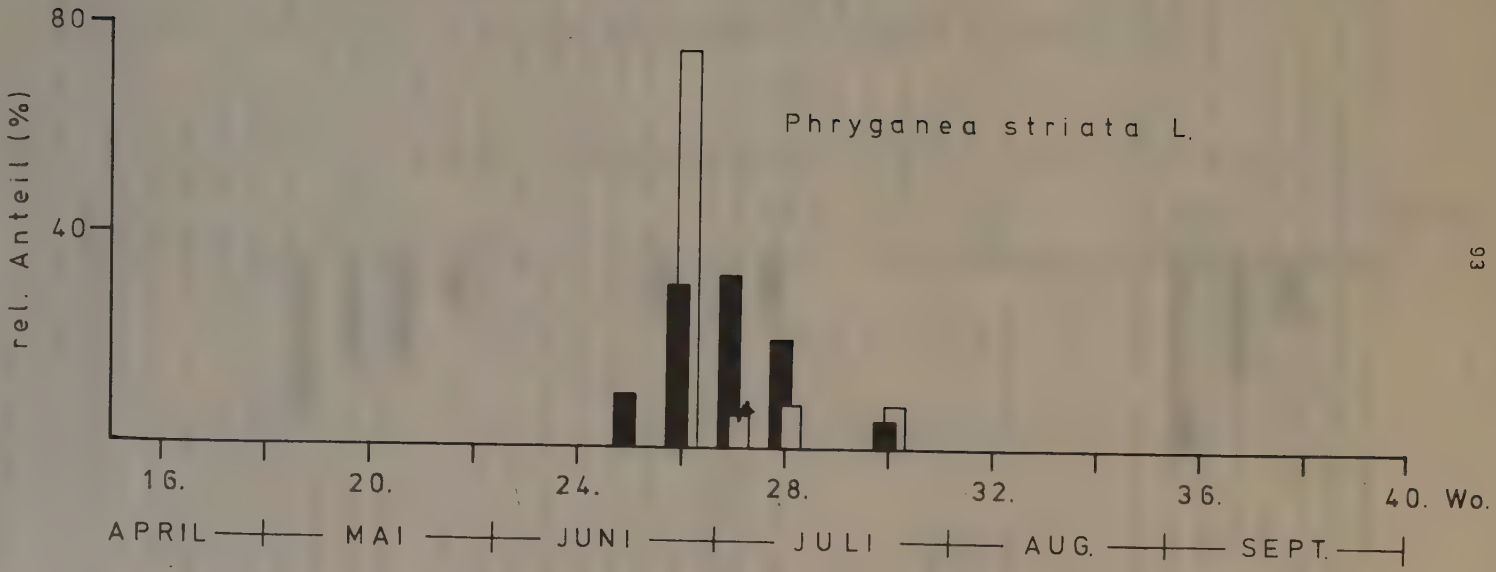



Abb. Nr. 33 Flugaktivität von P. striata oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1975

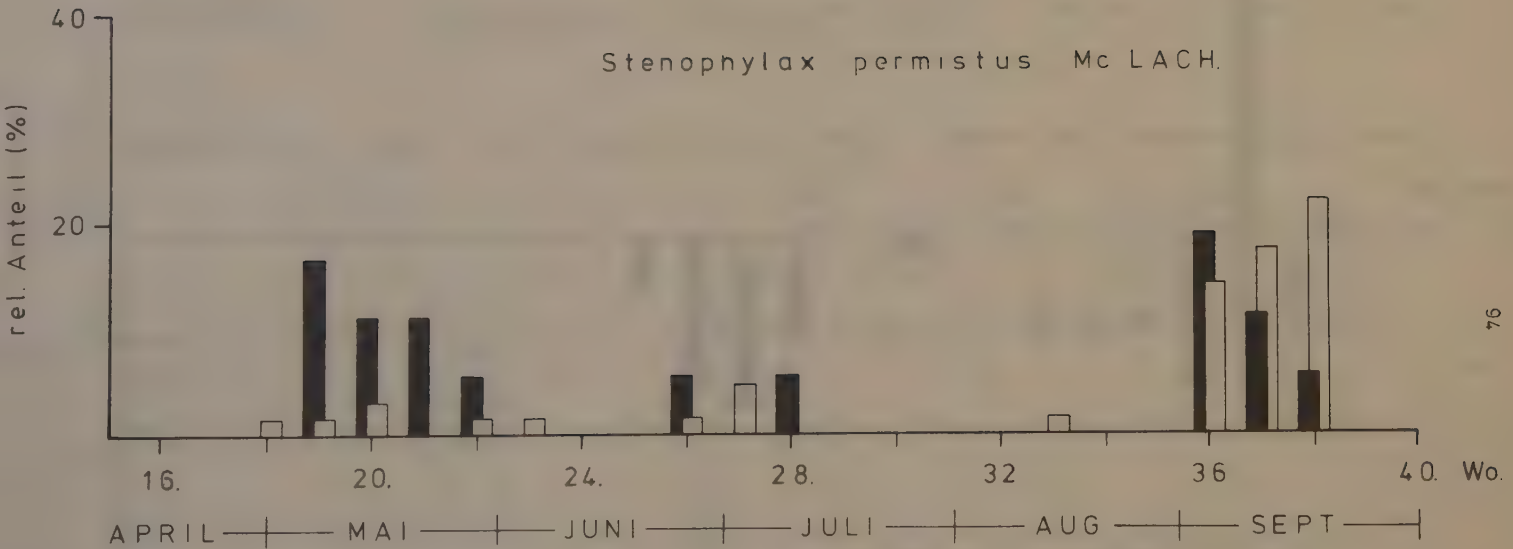



Abb. Nr. 34 Flugaktivität von St. permistus oberhalb (weiß) und unterhalb (schwarz) KW - 1975

Die enorme Fangausbeute oberhalb des Kraftwerkes ist meiner Ansicht nach in dem Standortwechsel der Falle zu sehen, vergleicht man die Ergebnisse mit denen des Vorjahres. Im Einflußbereich der Falle lag 1975 ein durchweg stark durchstömter Lennebereich, während 1974 sich der Einfluß der Falle auf einen kleinen und schwach durchströmten Lennebereich erstreckte. Die unterschiedlichen Fangquoten sind hier weniger von Interesse, da es sich bei einem Vergleich der Lichtfallenergebnisse nur um qualitative Aussagen handeln kann.

| | Lichtfalle | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Biesenberg | | Münzwerkstatt | |
| Trichopterenart | Gesamt | % oo | Gesamt | % oo |
| Hydropsyche pellucidula | 21334 | 88,6 | 8961 | 99,2 |
| Polycentropus flavomacu. | 9 | 100 | 76 | 91,7 |
| Limnophilus rhombicus | 551 | 76,6 | 156 | 66,2 |
| Phryganea striata | 47 | 41,6 | 37 | 47,6 |
| Stenophylax permistus | 63 | 96,6 | 18 | 81,3 |

Tabelle Nr. 30: Zusammensetzung der Lichtfänge oberhalb und unterhalb des Kraftwerkes im Untersuchungsjahr 1975

Die gefangenen Imagines stellen für die Hydropsyche-Population in dem Untersuchungsgebiet keinen Verlust dar, da mit jeder Fangmethode (Lichtfalle, Glashaus, Schlüpffalle) nur der Bruchteil eines Gewässers abgesucht wird, so daß der Larvennachschub von oben und unten im Laufe eines Zeitraumes die ausgeschiedenen Exemplare wieder ergänzt. ILLIES (1974, 1975) und MALICKY (1976) geben hierfür im Rahmen der Schlitzer produktionsbiologischen Studien zahlreiche Beispiele.
Auf Seite 79 wurde auf die Emergenz von H. pellucidula im Februar 1975 am Untersuchungspunkt "Auslauf" hingewiesen. Zu diesem Zeitpunkt konnten am "Auslauf" in den ufernahen Gehölzen (Alnus und Salix spec.) zahlreiche Imagines festgestellt werden, die regungslos auf den Zweigen saßen und sich leicht abstreifen ließen. Einen lebhaften und taumelnden Flug wie ihn die Imagines während der Sommermonate zeigen, beobachtete ich nicht. Vielmehr suchten sie, wenn sie von den Zweigen herunter gestreift wurden, Schutz unter Steinen, Ästen o.ä.. Ursache der geringen Aktivität dürfte m.E. in den niedrigen Außentemperaturen zu suchen sein, die die Mobilität der Männchen und Weibchen auf ein Minimum reduzierte. Aus diesem

Grund mag es in den Frühjahrsmonaten nicht zu Kopulationen kommen, die ebenso wie auch Eigelege nicht registriert wurden. Die ersten Eigelege konnten an diesem Punkt wie an allen anderen Untersuchungsstellen auch erst in der zweiten Junihälfte nachgewiesen werden. Angemerkt sei ein Laborexperiment, das im Mai 1975 durchgeführt wurde:
40 Imagines wurden vom Untersuchungspunkt "Münzwerkstatt" in einem Fangkäfig nach Bochum in das Labor gebracht. Die Hälfte der Tiere wurden in einem Kühlraum (Temperatur 3-5 °C; rel.Luftfeuchte ca. 80 %) gehältert, während die übrigen zwanzig Imagines im Labor bei 20 °C untergebracht wurden. Nach zwei Tagen waren alle Tiere im Kühlraum verendet, dagegen lebten im Labor noch 17 Imagines.
Abbildung Nr. 30 zeigt die Flugaktivität von Hydropsyche pellucidula. Demnach lag der Beginn der Flugzeit unterhalb des Kraftwerkes rund einen Monat früher als oberhalb. Sie dauerte von Mitte Mai (20. Woche) bis Ende September (39.Woche), während sie oberhalb des Werkes erst Mitte Juni (24. Woche) begann und zwei Wochen eher, in der 37. Woche endete. Der Höhepunkt der Flugzeit war in diesem Jahr besonders gut ausgeprägt und fiel an beiden Stellen in die erste Julihälfte. Ein Vergleich mit der Tabelle Nr. 29 zeigt, daß die Maxima sehr eng mit der Lennetemperatur korreliert sind, die vom Beginn der Flugzeit an kontinuierlich bis zur 28. Woche auf ihren Höchstwert von 19,1 °C angestiegen war.
Der Verlauf der Flugzeit zeigt ergänzend zu den Larvaluntersuchungen ganz eindeutig, daß Hydropsyche pellucidula im Untersuchungsgebiet einen einjährigen Generationszyklus hat.
Am 30. Juni des Jahres 1975 wurde an sämtlichen Untersuchungspunkten die jeweils an einer Besiedlungsplatte abgelegten Hydropsyche-Eigelege gezählt. Die Eigelege waren fast ausschließlich auf dem gesamten drei Zentimeter breiten Rand der Platten ohne sichtbaren Bezug zur Strömungsrichtung abgelegt worden, d.h. die Eigelege fanden sich an allen vier Randseiten der Platten.
Es ergaben sich folgende Resultate:

| Untersuchungspunkt | Eigelege/Besiedlungsplatte | Eigelege/$m^2$ |
|---|---|---|
| "Biesenberg" | 28 | 622 |
| "Bauer" | 25 | 555 |
| "Auslauf" | 45 | 1000 |
| "Bahndamm" | 109 | 2422 |

Tabelle Nr. 31: Eigelege von H. pellucidula an den Rändern der Besiedlungsplatten. Untersuchung vom 30.6. 1975

Bemerkenswert war, daß am "Auslauf" und am "Bahndamm" Eigelege sogar in großer Anzahl vorkamen. Der zahlenmäßige Überschuß kann bei einerProbennahme nicht diskutiert werden und ist für die Untersuchung als solche auch nicht von Bedeutung. Durch diesen Befund wird das bekräftigt, was an anderer Stelle schon einmal gesagt wurde. Eine Minderung in der Individuenzahl und der Artenanzahl geht also nicht auf eine Selektion von seiten der Imagines zurück (die im übrigen auch völlig unlogisch wäre), sondern ist in den unterschiedlichen Bedingungen im Lennewasser zu suchen, die im warmen Auslaufwasser für die Larven unpassend sind und die daraufhin andere Refugien besiedeln.
Signifikante Unterschiede in der Gelegegröße wurden ebenfalls nicht festgestellt. Jeweils 2 Gelege wurden an allen Untersuchungsplatten von den Rändern abgekratzt und im Labor ausgezählt. Die Eizahlen lagen zwischen 356 und 510 Eiern pro Gelege.

Polycentropus flavomaculatus PICT.
85 Imagines wurden im Untersuchungsjahr 1975 gefangen. Da hiervon nur neun Imagines in der Falle Biesenberg gefangen wurden, wird auf eine Darstellung der Flugaktivität oberhalb des Kraftwerkes verzichtet. Am Punkt "Münzwerkstatt" lag die Hauptflugzeit von Polycentropus flavomaculatus zwischen der 20. und 23. Woche, so daß man auch bei dieser Art von einem einjährigen Zyklus sprechen kann (Abb. Nr. 30).

Limnophilus rhombicus L.
707 Imagines konnten in der Fangausbeute nachgewiesen werden. Der Weibchenanteil betrug oberhalb 76,6%, während er am Punkt "Münzwerkstatt" mit 66,2% nur etwas geringer war.
Betrachtet man die Abbildung Nr. 32, so erkennt man, daß die Flugperiode von Anfang Juli (27. Woche) bis Ende September (40.Woche) dauerte. Die Hauptflugzeit fiel bei Limnophilus rhombicus L. oberhalb des Kraftwerkes in den Zeitraum 34-40. Woche, wogegen unterhalb ein sehr eng begrenztes Maximum in der 37. Woche zu verzeichnen war.Auch diese Art ist im Untersuchungsgebiet monozyklisch.

Phryganea striata L.
Im Gegensatz zum Untersuchungsjahr 1974 waren im Jahr 1975 zwischen den Flugzeiten der Imagines unterhalb und oberhalb des Kraftwerkes keine großen Unstimmigkeiten mehr nachweisbar.

Abbildung Nr. 33 zeigt den graphischen Verlauf der Flugaktivitätskurve. Oberhalb des Kraftwerkes dauerte sie von der 25. Woche bis zur 31. Woche, währendsie unterhalb des Kraftwerkes schon eine Woche eher begann. Wie die vorstehenden Trichopterenarten so hat auch Phryganea striata im Lenneuntersuchungsgebiet einen einjährigen Generationszyklus.

Stenophylax permistus Mc LACH.
Die Flugaktivität von St. permistus im Jahr 1975 ist in der Abbildung Nr. 34 dargestellt. Eine maximale Aktivität zeigte St. permistus am "Biesenberg" in den ersten Septemberwochen, die auf einen einjährigen Generationswechsel hinweist. Dagegen traten am aufgeheizten Punkt "Münzwerkstatt" sowohl im Mai, als auch im September in der Fangausbeute verstärkt St. permistus - Imagines auf, die auf einen 1 1/2 jährigen Generationszyklus hinweisen. Allerdings darf dieses auf Grund der niedrigen Fangzahl von 18 Imagines an diesem Punkt nur vermutet werden. Nur mit einem größeren Zahlenmaterial wäre eine Klärung möglich. Festgehalten sei für diese Untersuchung vorerst, daß St. permistus einen einjährigen Zyklus hat, wobei sich unterhalb des Kraftwerkes Anzeichen für einen 1 1/2 jährigen Zyklus bieten.

Neben den angeführten Trichopterenarten konnten in der Fangausbeute der Lichtfalle "Biesenberg" im vergangenen Jahr noch folgende Trichopteren nachgewiesen werden:

| | |
|---|---|
| Philopotamus ludificatus Mc LACH | 5 Exemplare |
| Glyphotaelius pellucidus RETZ | 1 Exemplar |
| Halesus radiatus CURT. | 1 Exemplar |
| Drusus annulatus STEPH. | 1 Exemplar |

Bei diesen Trichopteren handelt es sich um Arten, die aus angrenzenden Gewässern stammen (siehe Kapitel 2.4.3.1). Neben umfangreichen Baetis-Fängen wurden nur noch einige Cloeon dipterum Imagines gefangen (Dreseler Teich). Andere Ephemeropteren wurden nicht in den Lichtfängen nachgewiesen. An Plecopteren konnte nur ein Exemplar, und zwar Protonemura praecox in der 'Biesenberg"-Falle gefangen werden.
Die Flugzeiten von Sialis lutaria L. stimmten in beiden Untersuchungsjahren am "Biesenberg" und an der "Münzwerkstatt" überein (insgesamt gefangene Imagines:73) und dauerten von Mitte Mai bis Mitte Juni.

Abb. Nr. 35:
Phryganea striata L.

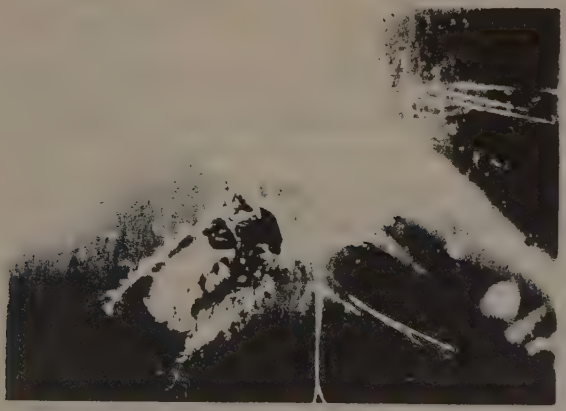


Abb. Nr. 36:
Hydropsyche pellucidula CURT.; Larve

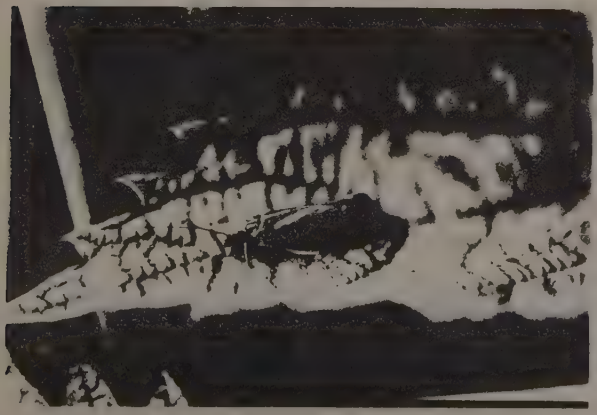


Abb. Nr. 37:
Hydropsyche pellucidula CURT.; Imago

Zusammenfassung von Kapitel 2.4.3

1. Von einem azönotischen Gewässer hat sich die Lenne in den letzten vier bis fünf Jahren durch verbesserte Reinigung industrieller und häuslicher Abwässer und das Zuschußwasser aus der Biggetalsperre zu einem ß-mesosaproben Mittelgebirgsfluß entwickelt, der eine typische Phyto- und Zoozönose besitzt.
2. Eine Beeinflußung der Saprobität durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen konnte nicht nachgewiesen werden.
3. Unterhalb des Kraftwerkes lag an den drei Untersuchungspunkten ein Artenfehlbetragzwischen 46% ("Bauer"), bzw. 65% ("Auslauf").
4. Im Untersuchungsabschnitt obern lb des Kraftwerkes kamen Evertebraten vor, die als kaltstenotherme Vertreter aus den einmündenden Bergbächen eingedriftet waren und oberhalb des Kraftwerkes geeignete Temperaturbedingungen vorfanden. Hierzu gehörten vor allem Epeorus sylvicola und Dinocras cephalotes.
5. Die an allen Untersuchungspunkten zur dominanten Organismenklasse zählende Trichopterenlarve Hydropsyche pellucidula CURT. besaß am Auslauf die niedrigste Abundanz.
6. Der Egel Herpobdella octoculata gehörte am Wärmwasserauslauf zu der dominanten Organismenklasse, während er an dem thermisch unbelasteten "Biesenberg" unter den subrezedenten Arten zu finden war.
7. Hydropsyche- und Chironomiden-Larven reagierten sowohl auf Kälteschocks , als auch auf Wärmeschocks ohne Bezug zur Tageszeit mit einer Fluchtdrift.
8. Die Larven von H. pellucidula zeigten im Auslaufwasser während der Wintermonate ein besonders starkes Größenwachstum, verbunden mit einer Gewichtszunahme.
9. Die Gewässererwärmung führte zu einer Beschleunigung der Larvalentwicklung bei Hydropsyche, so daß am "Auslauf" bereits im Februar (4 Monate zu früh) die ersten Imagines festgestellt wurden. 71,4 % der Larvenpopulation befand sich zu diesem Zeitpunkt schon im 5. Larvenstadium, während es oberhalb des Kraftwerkes am "Biesenberg" erst 4,2 % waren.
10. Eigelege fanden sich gleichzeitig oberhalb und unterhalb des Werkes in großer Anzahl.
11. Die Flugzeit von Hydropsyche begann zwar unterhalb des Kraftwerkes rund vier Wochen eher als oberhalb, zeigte jedoch im großen und ganzen den gleichen Verlauf wie oberhalb (besonders 1975).
Für sämtliche in der Lenne vorkommenden Trichopteren wurde ein

einjähriger Generationszyklus nachgewiesen. Für Stenophylax permistus ergaben sich Hinweise für einen 1 1/2 jährigen Zyklus unterhalb des Kraftwerkes und einen 1 jährigen oberhalb der Warmwassereinleitung.

## 3. Laborversuche mit Larven von Hydropsyche, Epeorus und Dinocras

### 3.1 Methoden

Allgemein ist zur Hälterung von Hydropsyche-Larven zu sagen, daß sie sich unter Laborbedingungen gut halten lassen und es bedeutet keine Schwierigkeit, sie durch alle Larvenstadien und dem Puppenstadium bis zur Imago zu halten. Wichtige Voraussetzungen sind jedoch eine gute Belüftung des Hälterungswassers und eine nicht zu geringe Strömungsgeschwindigkeit (über 20 cm/s). Solche Langzeitversuche wurden mit Epeorus und Dinocras nicht durchgeführt, da nach vier bis sechs Wochen die Larven eingingen. Meiner Meinung liegt die Ursache hierfür in einer problematischen Ernährung der Tiere, wogegen sich Hydropsyche-Larven mit Tubifex, Daphnien und Mikromin-Staubfutter gut füttern ließen.

Bei den Langzeitversuchen (Kapitel 3.2.2) und den Versuchen zur Mobilität (Kapitel 3.2.3) wurden die Larven auf folgende Art und Weise gehalten (siehe hierzu die Abbildung Nr. 38):
In einem 50 l Aquarium mit Lennewasser befanden sich unterhalb des Wasserspiegels mehrere 0,5 oder 1,0 l Bechergläser, die mit einer Anzahl von Hydropsychelarven besetzt waren. Den Boden der Bechergläser bedeckte für den Bau der Puppengehäuse eine 1 cm hohe Schicht im Handel erhältlicher Kieselsteinchen, während die Innenseiten der Gläser mit einer Kunststoffgaze ausgekleidet waren. An dieser Gaze setzten sich die Larven bevorzugt fest, und begannen alsbald mit dem Bau von Wohn- und Fangnetzgespinsten. Über den Bechergläsern wurden Zylinder aus Maschengaze angebracht, die sich

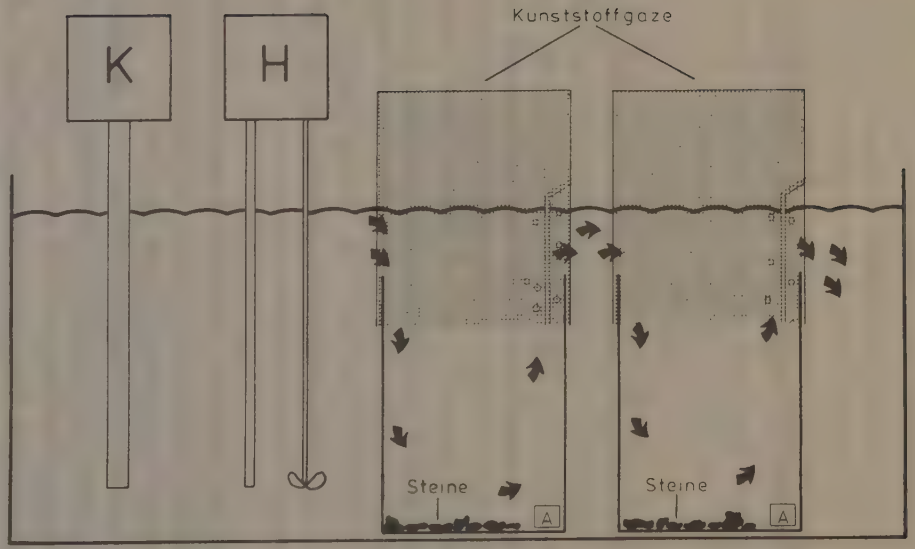



Abb. Nr. 38 Schematische Darstellung der Hälterungsmethode bei Langzeitversuchen. K = Kühlaggregat, H = Heizthermostat, A = Luftausströmer

über die Wasseroberfläche erhoben und die Imagines am Fortfliegen hinderten. Weiterhin befand sich auf jedem Becherglasboden ein Belüftungsstein, der einerseits der Sauerstoffversorgung diente und andererseits auch für eine gewisse Wasserströmung und Umwälzung sorgte. In dem Becken waren neben den erforderlichen Kühlschlangen der Kühlaggregate auch die Heizthermostate untergebracht. Die unterschiedlichen Temperaturen wurden bei allen Versuchsreihen mit folgenden Geräten erreicht:
Zur Kühlung standen mir drei HAAKE EK 11 Eintauchkühler zur Verfügung, die sich ebenso wie die Heizthermostate bei einem einjährigen, nur von kurzen Pausen unterbrochenen Einsatz bestens bewährt haben. Zur Kühlleistung ist anzumerken, daß zwei Aggregate 40 l Versuchswasser innerhalb von 23 Minuten von 25,2 °C auf 14,9 °C bei einer Raumtemperatur von 24 °C herunterkühlten.
An Eintauchthermostaten konnte auf vier JULABO Paratherm II electronic Thermostate zurückgegriffen werden (Leistung 1000 W; t = ± 0,2 °C) die auf Grund ihrer großen Heizleistung gerade bei kurzfristigen Schockversuchen bestens eingesetzt werden konnten.
Die zahlreichen Schaltungen der Kühlaggregate und der Heizthermostate wurden mit Hilfe von vier MEMPHIS (MEM) 88 d Theben Universalzeitschaltuhren ermöglicht, die es gestatteten den Schaltungsablauf für eine ganze Woche vorzuprogammieren, so daß der Arbeitsverlauf am Kraftwerk entsprechend gut simuliert werden konnte.
Bei den Langzeitversuchen wurde das Lennewasser einmal wöchentlich anteilmäßig (ca. 10l) mit Orginallennewasser vom Untersuchungspunkt "Biesenberg" ausgetauscht und in turnusmäßigem Abstand (6 Wochen) chemisch analysiert.
Darüberhinaus lagen die wöchentlichen Untersuchungsergebnisse vom "Biesenberg" vor, so daß die Gelegenheit bestand mögliche starke Abweichungen im Chemismus (die allerdings nicht auftraten) des Wassers sofort zu bemerken und entsprechend zu deuten.
Bei den <u>Letaltemperaturversuchen</u> wurden in Abänderung der oben erwähnten Hälterungsmethode die Larven von Hydropsyche, Epeorus und Dinocras in 2 l Bechergläsern gehalten, die als Substrat lediglich Kunststoffgaze enthielten.
Die Bechergläser befanden sich wie vorstehend in 50 l Aquarien, jedoch war auf Grund eines niedrigeren Wasserstandes im Aquarium nicht die Möglichkeit eines Wasseraustausches zwischen dem Aquarium und den Bechergläsern gegeben. Das Aquarium diente hier also nur Thermostatbecken. Die Bechergläser wurden bei diesen relativ kurzen Versuchen (48 h) mit einer Petrischale abgedeckt, um die Verdun-

stungsmenge möglichst gering zu halten .
Der Temperaturbereich zwischen 10 °C und 30 °C wurde in Temperaturstufen unterteilt, die einer geometrischen Reihe unterlagen. Bei folgenden Temperaturen testete ich die Letalität:
10,0/11,5/13,2/15,2/17,4/20,0/23,0/26,4/30,4/35,0 °C. Für die Durchführung der Versuchsreihen standen Larven zur Verfügung, die für eine Woche an 5,10,15 und 20 °C adaptiert waren. Pro Temperaturwert wurden zwischen 12 und 20 Tiere getestet. Epeorus- und Dinocras-Larven kamen aus dem Biesenberger Bach, während die Hydropsyche-Larven aus der Lenne vom Untersuchungspunkt 'Biesenberg' stammten.
Um die Epeorus- und Dinocras-Larven während der Probenahme vor Verletzungen zu bewahren, wurden die Bachsteine in eine mit Wasser gefüllte 50 l Wanne gelegt. Nachdem sich die Tiere von den Steinen gelöst hatten, konnte man sie sehr leicht und unversehrt mit einem Schlauch absaugen. Entsprechend wurde später auch im Labor verfahren. Die Tiere wurden dann als tot bezeichnet, wenn sie trotz starker Druckreizung mit einer Präpariernadel keine Reaktionen zeigten. Als Letaltemperatur wird die Temperatur verstanden, bei der 50% der Tiere verenden.
Bei den Langzeitversuchen wurden die Larven alle zwei Tage mit Mikromin-Staubfutter und Tubifex gefüttert; während den Letal- und den Toxizitätsversuchen fand keine Fütterung statt.
Die Methode,die zu der Analyse des Netzbauverhaltens angewendet wurde, ist in ihren Grundzügen an anderer Stelle kurz veröffentlicht worden (FEY 1975).
Abbildung Nr. 39 zeigt die schematische Übersicht über die Versuchsanlage. Zentrales Element ist hierbei ein aus zwei Teilen bestehender Gießharzblock (GHB), in dem ein im Winkel von 60° gebogenes Glasrohr (Ø = 4,0 mm) als Wohnröhre (WR) eingegossen wurde. Erst nach völligem Aushärten wurde der Gießharzblock mit einer Trennscheibe im hinteren Drittel geteilt.
Röhrenöffnung R1 ist Ein- und Ausgang der Wohnröhre, während durch die Öffnung R2 die Möglichkeit einer Wasserzirkulation innerhalb der Wohnröhre gegeben ist. Um die Öffnung R1 wurden 6 ca. 8 mm tiefe Bohrungen (Ø=0,3mm) angebracht, in welche je eine 2 cm lange rostfreie Insektennadel der Größe 0 eingesteckt wurde.
Das Gießharzblöckchen war in eine drei Zentimeter dicke und vierzig Zentimeter lange Plexiglasplatte (PGP) am Boden eines achtzig Zentimeter langen Strömungskanals eingelassen. Auf der Platte war ein Glasrohr so befestigt, daß sich dessen Öffnung fünf Zentimeter vor dem Eingangsloch der Wohnröhre befand. Mit einer Pumpe P2 wurde

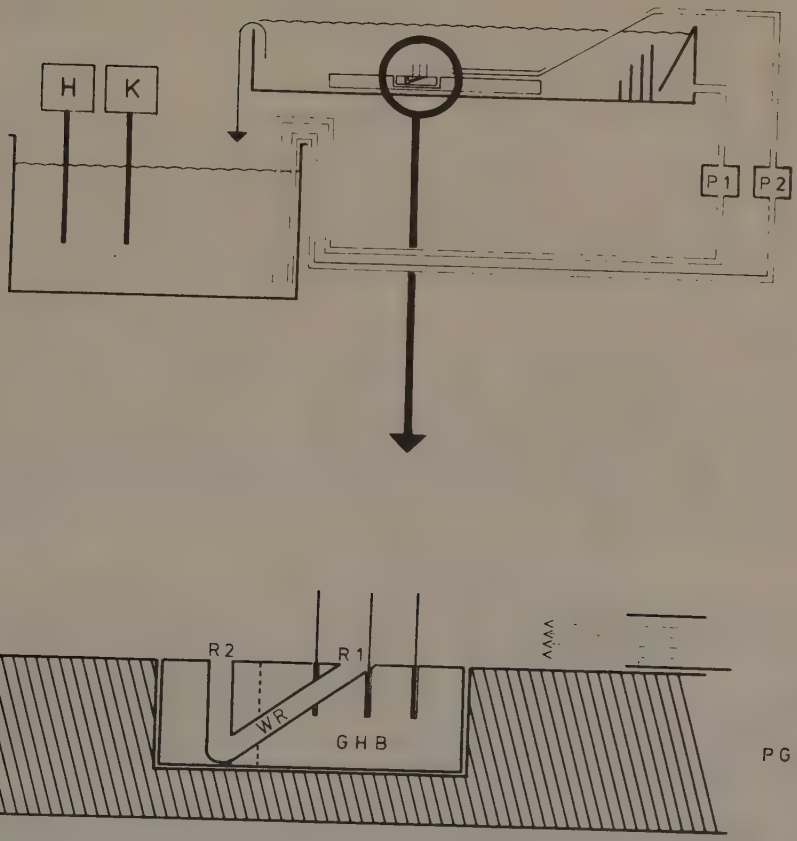



Abb Nr 39 Schematische Darstellung der Versuchsanlage zur Netzbauanalyse von H. pellucidula. Erklärung siehe Text

durch das Glasrohr ein in seiner Geschwindigkeit variierbarer Wasserstrahl über die Wohnröhre geleitet. Das aus dem Strömungskanal fließende Wasser wurde von einem tiefer gelegenen Becken aufgefangen und im Kreislauf über die Pumpe P1 dem Strömungskanal wieder zugeführt. In dem Auffangbecken konnten Kühlschlangen (K) und Heizthermostate (H) untergebracht werden, so daß sich auch bei den Netzbauversuchen die Möglichkeit kurzfristiger Temperaturänderungen bot.
Vier Stautreppen befanden sich am rechten Einlauf des Kanals zur Beruhigung des einschießenden Wassers. Für die Netzstrukturanalyse wurde der vordere Teil des Gießharzblockes samt dem Netzwerk aus der Strömungsrinne entnommen, in der Alkoholreihe entwässert, kurz in Xylol getaucht und anschließend mit schwachem Luftdruck getrocknet. Die Larve blieb dagegen in dem hinteren Teil des Blockes in der Strömungsrinne, so daß der vordere Blockteil - nachdem das Netz abpräpariert und der Block 30 Minuten gewässert worden war - wieder in die Strömungsrinne eingesetzt werden konnte und die Larve die Möglichkeit zu einem weiteren Netzbau hatte.
Mit einer Iridektomieschere schnitt ich unter dem Mikroskop den Fangteil des Netzes heraus, nachdem zuvor die Netzhöhe und das Netzvolumen registriert worden waren. Das herausgeschnittene Fangnetz wurde anschließend auf ein Glasplättchen senkrecht aufgeklebt und mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes ausgewertet.*
Durch die vertikale Ausrichtung des Fangnetzes auf dem Glasplättchen war es somit möglich, das Netz von vorne (in Strömungsrichtung) und von hinten (entgegen der Strömungsrichtung) zu fotografieren. Dieses war Voraussetzung zur Kenntnis eines genauen Fadenverlaufes.
In einer wöchentlichen Reinigung der Schlauchsysteme von Algenbewuchs sollten eventuelle Veränderungen der Strömungsgeschwindigkeit ausgeschaltet werden.
Die Abhängigkeit der Bleitoxizität von der Wassertemperatur wurde bei 10 °C und 20 °C getestet. Standardlösung war eine reine Bleilösung (0,1 g/l; FIXANAL, Fa. Riedel).
Die statistische Auswertung erfolgte nach CAVALLI-SFORZA (1972). Auf eine Anführung der Formeln wird an dieser Stelle verzichtet. Sie finden sich bei den entsprechenden Kapiteln.

* Herrn Dr. G. BIJVANK, Zentrales Rasterelektronenmikroskop der Ruhr-Universität Bochum, danke ich für seine Hilfen bei der Anfertigung der rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen.

## 3.2 Ergebnisse

### 3.2.1 Die Letaltemperatur in Abhängigkeit der Adaptationstemperatur

Die Kenntnisse über die Letaltemperaturen von Evertebraten in unseren Flüssen sind bedauerlicherweise sehr gering. Noch weniger wissen wir über die Subletaltemperaturen und das Verhalten der Organismen in diesen Temperaturbereichen. RUPPRECHT (1975) weist mit Recht daraufhin, daß bei der Gewässerbelastung durch Kraftwerke nicht allein die verschiedenen Letaltemperaturen zu beachten seien, sondern schon die Temperaturwerte, bei denen sich die Verhaltensweisen der Tiere ändern.

Bei den geringen Kenntnissen der Letalwerte von Evertebraten handelt es sich größtenteils um Einzelbeobachtungen, also keine Letaltemperaturen im oben genannten Sinn (LT 50%). Ausnahme sind die Untersuchungen von NEBEKER (1968).

ALABASTER (1963) zeigte bei verschiedenen Fischarten, daß die Letaltemperatur von der Adaptationstemperatur abhing. Steigende Adaptationstemperatur bewirkte eine Erhöhung der Letaltemperatur.

Über die Abhängigkeit der Letaltemperatur von der Adaptationstemperatur bei Trichopteren, Ephemeriden und Plecopteren liegen m.W. keine Untersuchungen vor. Kenntnisse hierüber sind aber für eine abgewogene Beurteilung von Gewässeraufheizungen unbedingte Voraussetzung.

Im Rahmen dieser Versuchsreihen wurden die Letaltemperaturen von Hydropsyche-, Epeorus- und Dinocras-Larven in Abhängigkeit der Adaptationstemperatur untersucht.

Der Grund für die Wahl von Epeorus und Dinocras ist darin zu sehen, daß beide Arten als kaltstenöke Organismen anzusehen sind und im untersuchten Fennabschnitt nur oberhalb der Warmwassereinleitungen vorkamen.

Die Berechnungen der mittleren Letaltemperaturen wurde nach der Formel von SPEARMAN-KÄRBER (zit. bei CAVALLI-SFORZA 1972) vorgenommen:

$$m = x_k + 1/2 \cdot d - d\frac{\Sigma P_i}{100}$$

Der Standardfehler der mittleren Letaltemperatur wurde mittels der Formel $S = \pm \frac{d}{100} \cdot \sqrt{\Sigma \frac{P_i \cdot (100-P_i)}{n_i - 1}}$ berechnet.

Mit Hilfe der Formel $K = m \pm 2S_m$ konnte der Vertrauensbereich (P = 95%) bestimmt werden.

Zur Benutzung der Formeln sei auf CAVALLI-SFORZA (1972) (Seite 171 - 173) verwiesen. Es ergaben sich folgende Resultate, die in den Abbildungen Nr. 40 bis 43 und der Tabelle Nr.36 dargestellt sind.

Hydropsyche pellucidula CURT.
Wie aus der Abbildung Nr. 40 zu ersehen ist, stieg bis zu der Adaptationstemperatur von 15 °C die mittlere Letaltemperatur sowohl bei 24 stündiger, als auch bei 48 stündiger Versuchsdauer an. Nach 24 Stunden lag die Letaltemperatur bei einer Adaptationstemperatur von 5 °C bei 30 °C. Dieser Wert erhöhte sich auf 32,5 °C bei einer Adaptationstemperatur von 15 °C. Nach 48 Stunden Versuchsdauer verringerten sich diese Werte generell um 2,1 °C. Auffallend war, daß bei einer Adaptationstemperatur von 20 °C die Letaltemperaturen mit 30,3 °C und 29,8 °C niedriger waren als bei 15 °C.

Epeorus sylvicola PICT.
Das direkt proportionale Verhältnis zwischen der Letal- und der Adaptationstemperatur kam bei Epeorus nicht so klar hervor wie bei Hydropsyche (Abb. Nr. 41). Betrachtet man zunächst die Letaltemperaturen bei 24 stündigem Versuchslauf, so fällt auf, daß die Letaltemperatur zwischen 5 und 10 °C Adaptationstemperatur zunächst um 0,8 °C von 26,5 auf 25,7 °C abfiel, um dann bei einer Adaptationstemperatur von 20 °C auf 27,8 °C anzusteigen. Die 48 Stundenwerte zeigten zwischen 5 und 20 °C Adaptationstemperatur einen nur sehr geringfügigen Anstieg. Wie bei Hydropsyche lagen auch hier diese Werte unter denen der 24 stündigen Versuchsdauer.

Dinocras cephalotes CURT.
Bei der Plecopterenlarve Dinocras cephalotes CURT. lag ebenso wie bei Hydropsyche pellucidula eine starke Abhängigkeit der Letaltemperatur von der Adaptationstemperatur vor. Nach der Abbildung Nr. 42 stieg mit der Erhöhung der Adaptationstemperatur auch die mittlere Letaltemperatur. Nach 24 Stunden lag ein Anstieg von 28,4 °C (5 °C Adaptationstemperatur) auf 31,9 °C (20 °C Adaptationstemperatur) vor. Die 48 Stundenwerte lagen erwartungsgemäß unter den Resultaten bei 24 stündiger Versuchsdauer.

Bei allen drei untersuchten Insektenarten konnte festgestellt werden, daß die Letaltemperatur von der Adaptationstemperatur be

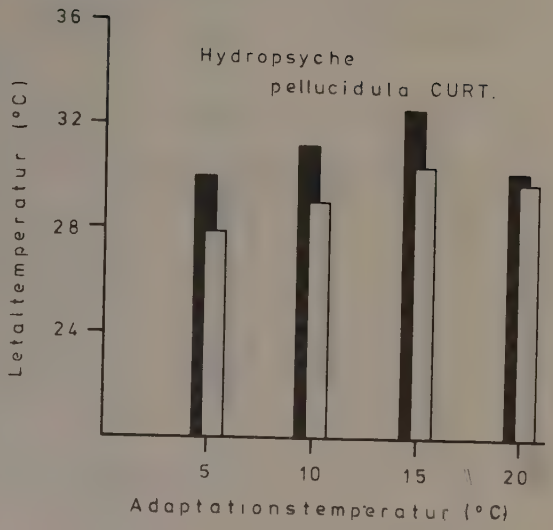



Abb Nr. 40 Mittlere Letaltemperaturen (LT 50%) von H. pellucidula in Abhängigkeit der Adaptationstemperatur nach 24 (schwarz), bzw. 48 (weiß) Stunden

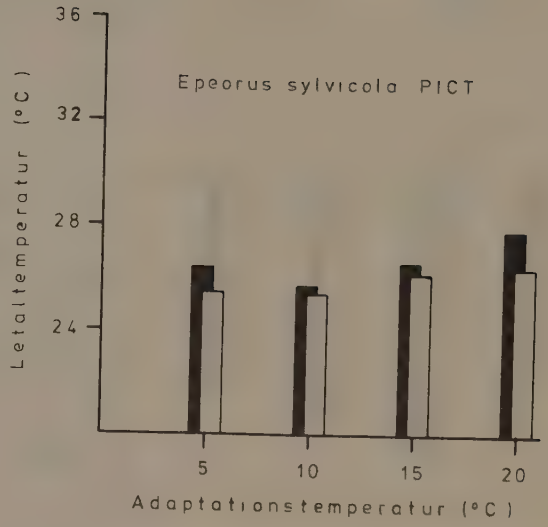



Abb Nr. 41 Mittlere Letaltemperaturen (LT 50%) von E sylvicola in Abhängigkeit der Adaptationstemperatur nach 24 (schwarz), bzw 48 (weiß) Stunden

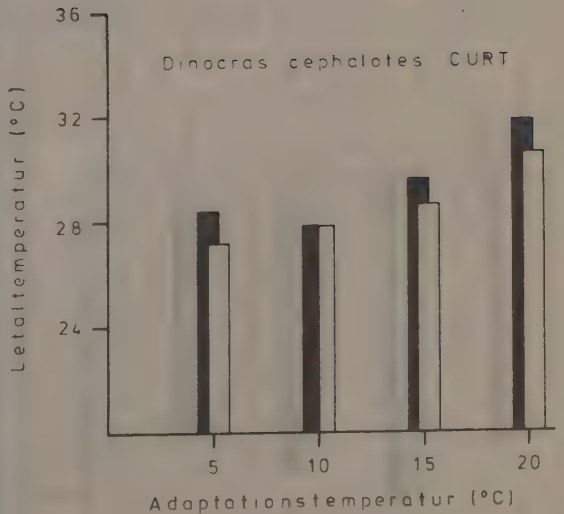



Abb. Nr. 42 Mittlere Letaltemperaturen (LT 50%) von D. cephalotes in Abhangigkeit der Adaptationstemperatur nach 24 (schwarz), bzw 48 (weiß) Stunden

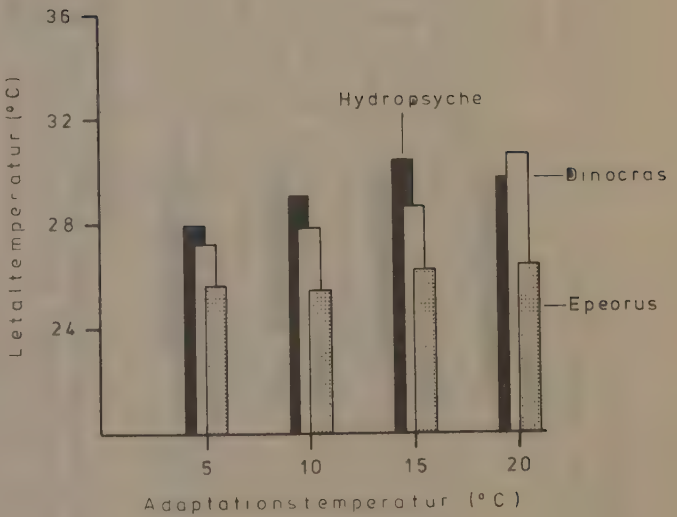



Abb. Nr 43 Mittlere Letaltemperaturen (LT 50%) von Hydropsyche, Dinocras und Epeorus in Abhangigkeit der Adaptationstemperatur nach 48 Stunden

| Adaptationstemperatur | | Hydropsyche | | | Epeorus | | | Dinocras | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | $M_u$ | M | $M_o$ | $M_u$ | M | $M_o$ | $M_u$ | M | $M_o$ |
| 24 h | 5 | 28,2 | 30,0 | 31,8 | 25,3 | 26,5 | 27,6 | 24,9 | 28,4 | 32,4 |
| | 10 | 30,2 | 31,2 | 32,4 | 24,2 | 25,7 | 27,3 | 26,7 | 27,8 | 29,0 |
| | 15 | 31,6 | 32,5 | 33,3 | 23,6 | 26,6 | 29,9 | 28,3 | 29,6 | 30,8 |
| | 20 | 29,1 | 30,3 | 31,5 | 27,1 | 27,8 | 28,5 | 30,4 | 31,9 | 33,4 |
| 48 h | 5 | 25,8 | 27,9 | 30,2 | 22,7 | 25,5 | 28,7 | 24,7 | 27,1 | 29,7 |
| | 10 | 27,5 | 29,0 | 30,6 | 23,9 | 25,4 | 26,9 | 26,7 | 27,8 | 29,0 |
| | 15 | 29,2 | 30,4 | 31,6 | 23,2 | 26,1 | 29,2 | 27,5 | 28,8 | 30,1 |
| | 20 | 28,5 | 29,8 | 31,1 | 25,5 | 26,4 | 27,4 | 28,6 | 30,6 | 32,7 |

Tabelle Nr. 32 : Die Letaltemperaturen (50%) von Hydropsyche, Epeorus und Dinocras nach 24, bzw. 48 Stunden in Abhängigkeit der Adaptationstemperaturen. Neben den Mittelwerten (M) sind die unteren und oberen Grenzen ($M_u$, $M_o$) des Vertrauensbereiches (P= 95%) angegeben. Alle Angaben in °C.

einflußt wird. Eine höhere Adaptationstemperatur bewirkte eine höhere Letaltemperatur (Ausnahme Hydropsyche 20 °C).
Ferner wurde nachgewiesen, daß mit fortschreitender Dauer der Temperatureinwirkung (Versuchsdauer 24 und 48 Stunden) die mittleren Letaltemperaturen sanken. Anders ausgedrückt: kurzfristig wurden höhere Temperaturen ertragen als es bei längerer Einwirkung der Fall war. Da dieser Unterschied in allen drei Fällen signifikant ist, darf vermutet werden, daß bei einer noch längeren Temperatureinwirkung die Letalwerte noch tiefer liegen werden, was für die Verteilung in einem aufgeheizten Fluß von erheblicher Bedeutung ist. In Laborexperimenten dürfte diese jedoch direkt schwer zu beweisen sein, da bei länger dauernden Versuchreihen neben Adaptationseffekten für Ephemeriden- und Plecopteren-Larven auch die Ernährung eine bedeutende Rolle spielt. Daher hatte ich meine Versuchsreihen auf 48 Stunden beschränkt.
In der Abbildung Nr. 43 sind die mittleren Letaltemperaturen der drei untersuchten Arten nach 48 stündiger Versuchsdauer zusammengefaßt. Abgesehen von den Verhältnissen bei 20 °C hat Hydropsyche die höchsten Letaltemperaturwerte, gefolgt von Dinocras, die bei 20 °C Adaptationstemperatur über dem Wert von Hydropsyche liegt. Epeorus hat von allen drei Arten die niedrigsten Letalwerte.

Im Anschluß an diese Versuchsreihen wurde mit einem an 25 °C adaptierten Larvenmaterial (Adaptationszeit 4 Tage) Abkühlungsversuche durchgeführt. Die Wassertemperatur wurde von 25 °C auf 5 °C heruntergekühlt. Erstaunlich war hierbei im Gegensatz zu den oben beschriebenen Versuchsreihen, daß sämtliche Hydropsyche-, Epeorus- und Dinocras-Larven den Kälteschock unbeschadet überstanden. Entsprechende Resultate wurde sogar erreicht, wenn die Tiere sofort aus dem 25 °C warmen Wasser in das 5 °C kalte Wasser überführt wurden. Nach anfänglichen Starrezuständen erholten sich die Larven in der ersten Stunde und zeigten danach "normale" Verhaltensweisen.

### 3.2.2 Mortalität und Emergenz bei Langzeit-Temperaturschockversuchen

Eine Auswertung der Schreiberprotokolle vom 1.6. bis zum 30.11.1974 an den Punkten "Bohndamm" und "Bauer" ergab, daß während der Monate Juli, August und September an den beiden Stellen Aufheizungsphasen unterschiedlicher Frequenz, Dauer und Intensität vorlagen (Tabelle

Nr. 8 und 9). Wie bereits auf der Seite 38 mitgeteilt lag die mittlere Dauer der Temperaturschocks am Punkt "Bauer" bei 3,9 Stunden, während die mittlere Aufheizspanne 5,9 °C , die höchste Temperaturdifferenz 9,6 °C und die mittlere Flußtemperatur 15,3 °C betrug. Am gegenüberliegenden "Bahndamm" spiegelte sich in der Dauer der Aufheizspannen in etwa der Rhythmus des Kraftwerkes wider. Die mittlere Heizdauer lag hier bei 12,6 Stunden, die mittlere Aufheiztemperatur 7,2 °C. Die maximale Temperaturdifferenz betrug 10,2 °C, die mittlere Flußtemperatur in diesem Zeitraum 16,1 °C.

In Laborversuchen wurde untersucht, inwieweit sich solche alternierenden Temperaturen auf die Mortalität und Emergenz von Hydropsyche pellucidula auswirken. Sofern Larven von Epeorus und Dinocras zur Verfügung standen, wurden auch sie mit in die Versuchsreihen einbezogen. Insgesamt wurden zu diesem Problemkreis vier Versuchsreihen durchgeführt, wobei die ersten beiden aus den oben geschilderten Temperaturverhältnissen an den Punkten "Bahndamm" und "Bauer" entstanden.
Ausgehend von der maximalen Aufheiztemperatur wurden die Larven bei wechselnden Temperaturen von 15 und 25 °C gehalten, wobei jede Temperaturphase in dem einen Fall vier Stunden und in der anderen Versuchsreihe 12 Stunden dauerte. Abbildung Nr. 44 zeigt schematisch den Temperaturverlauf in diesen beiden Versuchsreihen. Die Aufheizdauer von rund 15 Minuten und die Abkühlphase von 23 Minuten wurden hierbei nicht berücksichtigt.

A) Phasendauer 4 Stunden; 15 °C - 25 °C - 15 °C
Von 18 eingesetzten Larven des 5. Stadiums hatten sich nach 44 Tagen 72,2 % erfolgreich zum Imago entwickelt. Die übrigen Exemplare starben während des Puppenstadiums. Die Puppendauer lag bei 10 Tagen (= 4830 Gradstunden). Von den Kontrolltieren, die bei einer konstanten Temperatur von 15 °C gehalten wurden, hatten sich nach 67 Tagen 90% zum Imago entwickelt. Die Puppendauer dieser Tiere betrug 20 Tage (7200 Gradstunden). Tiere, die in 20 °C warmen Wasser gehalten wurden hatten eine Puppendauer von 17 Tagen (= 8160 Gradstunden). SCHUHMACHER (1970) gibt eine Puppendauer von ungefähr 2 Wochen bei einer Wassertemperatur zwischen 18 und 22 °C an.

B) Phasendauer 12 Stunden; 15 °C - 25 °C - 15 °C
Nach 38 Tagen hatten sich von den eingesetzten Larven (5. Stadium) 40% zum adulten Tier entwickelt, während 20% der Larven im Larval-

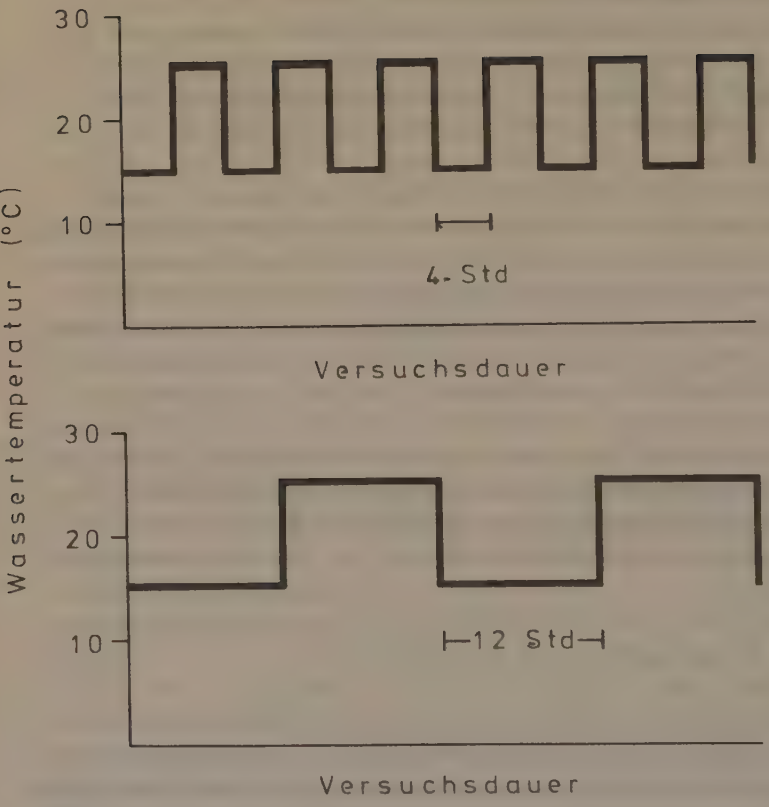



Abb. Nr. 44 Temperaturverlauf bei Langzeit-Temperaturschockversuchen (schem.)

und 40 % im Puppenstadium verendeten. Bei den geschlüpften Tieren betrug die Puppendauer 10 Tage (= 4810 Gradstunden). Von den Kontrolltieren (15 °C konstant) starben nur 5 % im Puppenstadium, während die übrigen Exemplare alle das Imaginalstadium erreichten. Ergänzend wurden hierzu acht lebende Hydropsyche-Puppen vom Untersuchungspunkt "Biesenberg" entnommen und den gleichen Temperaturbedingungen unterworfen. Nach 12 Tagen waren 50 % der Tiere als Imago geschlüpft, während die restlichen 50 % im Puppenstadium verendeten. Auffallend war, daß die Hälfte hiervon bei Verlassen der Puppengehäuse starben. Dieses Phänomen konnte auch bei anderen Gelegenheiten mehrfach beobachtet werden.
Epeorus sylvicola-Larven, die ebenfalls diesen Temperaturen ausgesetzt waren, starben allesamt in den ersten 48 Stunden.

C) Phasendauer 4 Stunden, 10 °C - 25 °C - 10 °C
In dieser Versuchsreihe wurde die Aufheiztemperatur auf 15 °C erhöht. Wie die Auswertung der Schreiberrollen vom Untersuchungspunkt "Bahndamm" ja ergeben hatte (Seite 39), lag an diesem Punkt einmal eine Aufheizung um rund 13,5 °C vor. Die Aufheizspanne hat am "Auslauf" in diesem Fall erfahrungsgemäß 14 - 15 °C betragen (leider war es nicht mehr möglich nachträglich genaue Temperaturwerte vom "Auslauf" vonseiten des Kraftwerkes zu bekommen). Eine so große Aufheizung geschah im Lenneuntersuchungsgebiet zwar äusserst selten, ist aber bei der Beurteilung der Gewässererwärmung unbedingt zu berücksichtigen.
Nur 16,7 % der eingesetzten Larven des 5. Stadiums entwickelten sich zum Imago, während die restlichen 83,3 % vorzeitig starben. Davon verendeten im Larvenstadium 33 % und im Puppenstadium 67 %. Bei den Kontrolltieren überlebten alle im Larvenstadium bei 10 °C.
Ein entsprechender Versuch wurde mit Larven von Epeorus und Dinocras durchgeführt. Nach drei Tagen lebten nur noch 35,8 % der Epeorus-Larven, während erstaunlicherweise die Dinocras-Larven die Temperaturschocks alle unbeschadet überstanden hatten. Von den Kontrolltieren, gehältert bei 10 °C, starben sowohl bei Epeorus, als auch bei Dinocras keine Larven.

D) Phasendauer 4 Stunden; 5 °C - 15 °C - 5 °C
Nach 28 Tagen wurde die Versuchsreihe mit Hydropsyche-Larven abgebrochen, da alle Larven noch lebten. Die Versuche mit Epeorus und Dinocras beendete ich nach 9 Tagen, da bis zu diesem Zeitpunkt keine Larve gestorben war, und eine längere Versuchsdauer auf Grund der

problematischen Ernährung nicht in Frage kam.

| | Temperaturschockversuche | | |
|---|---|---|---|
| | 15°C-25°C-15°C/4h | 15°C-25°C-15°C/12h | 10°C-25°C-10°C/4h |
| Einsatz | 100% Larven | 100% Larven | 100% Larven |
| tot La. | --- | 33% | 33% |
| tot Pu. | 100% 27,8% | 67% 60,0% | 67% 83,3% |
| Emergenz | 72,2% | 40,0% | 16,7% |

Tabelle Nr. 33: Beeinflussung der Hydropsyche-Emergenz durch Temperaturschocks. Länge der Phasendauer jeweils 4, bzw. 12 Stunden.

In der obenstehenden Tabelle sind die Ergebnisse dieser Versuchsreihen bezüglich der Hydropsyche-Emergenz zusammengefaßt. Versuch D) wurde weggelassen, da es ja auf Grund der niedrigen Gradstunden nicht zu einer Emergenz kam.
Deutlich wird, daß die Emergenz in starkem Maße von den Temperaturschocks betroffen undhierbei von drei Faktoren beeinflußt wird:

1. Höhe der Ausgangstemperatur
2. Temperaturerhöhung
3. Phasendauer.

Besonders der dritte Punkt erscheint mir bei den am Kraftwerk Elverlingsen herrschenden Verhältnissen sehr wichtig: die Verlustrate ist bei langen Schockphasen (12 Stunden) mehr als doppelt so hoch, als bei kurzen Schockphasen (4 Stunden).
Auch ohne Temperaturschocks ist eine Abhängigkeit der Emergenz von der Wassertemperatur zu beobachten. Wie vorstehend schon angeführt lag die Verlustrate bei den Kontrolltieren, die bei 10 °C und 15 °C gehalten wurden, zwischen 0 und 10 %. In einem zusätzlichen Versuch wurden Larven des 5. Stadiums als Kontrolltiere bei einer Wassertemperatur von 20 °C gehalten, während der Versuchsgruppe zusätzlich einmal pro Woche für 12 Stunden eine Temperaturerhöhung von 7 °C geboten wurde.
Nach 67 Tagen waren von der Kontrollgruppe 60 % gestorben (2/3 im Puppenstadium). 26,7 % hatten sich bei einer Puppendauer von 17 Tagen zur Imago verwandelt, während 13,3% noch als Larven lebten. Ungünstiger sah es nach diesem Zeitraum bei der Versuchsgruppe aus: von den eingesetzte Larven starben 90% im Larvenstadium, 10% konnten sich zum flugfähigen Insekt verwandeln.

Bei den vorstehend beschriebenen Versuchsreihen A) und B) ergaben sich gegenüber den Kontrolltieren Veränderungen in der Puppendauer. Generell würde man erwarten, daß die Puppendauer - umgerechnet in Gradstunden ( $^{o}C \cdot h$) im großen und ganzen gleich ist. Eine Gegenüberstellung der Puppendauer von Hydropsyche zeigt aber, daß dies zwar für Larven gilt, die das Puppenstadium bei konstanten Wassertemperaturen durchliefen, nicht aber für Larven, die bei Schocktemperaturen gehältert worden waren (Tabelle Nr. 34).

| Hälterungstemperatur ($^{o}C$) | Gradstunden ($^{o}C \cdot h$) |
|---|---|
| 15 | 7200 |
| 20 | 8160 |
| 15-25-15/4h | 4830 |
| 15-25-15/12h | 4810 |

Tabelle Nr. 34: Puppendauer von Hydropsyche pellucidula in Gradstunden ($^{o}C \cdot h$) bei verschiedenen Hälterungstemperaturen.

Bei diesen Tieren war die Puppendauer um mehr als ein Drittel verkürzt, wobei die Dauer der einzelnen Temperaturphasen (4 oder 12 Stunden) ohne Bedeutung war.

### 3.2.3 Mobilität von Hydropsyche-Larven bei unterschiedlichen Temperaturen

In Kapitel 2.4.3.6 ist bereits darauf hingewiesen worden (MEIJERING 1970; MÜLLER 1963, 1966), daß eine erhöhte Wassertemperatur eine Drifterhöhung bewirkt. MÜLLER (1963) spricht von einer Beeinflussung der Driftamplitude im Sinne der van't Hoffschen Regel. Die Ursachen der Drift liegen, wie SCHUHMACHER (1970) formulierte, u.a. in einer Erhöhung der Aktivität der Tiere. Die allgemeine Aktivität von poikilothermen Tieren ist aber in starkem Maße temperaturabhängig (LAUDIEN 1971, PRECHT u.a. 1973).
Eine Form der Aktivität bei Hydropsyche-Larven ist z.B. das Verlassen von Wohngespinsten, bzw. Habitaten. Inwieweit diese Mobilität durch die Wassertemperatur beeinflußt wird, soll in diesem Kapitel dargestellt werden.

Ausgangspunkt (100%) waren Hydropsyche-Larven des 3. bis 5. Stadiums,

die eine Woche nach Versuchsbeginn in ihren Wohngespinsten in den Hälterungsgläsern saßen. Nun wurde in wöchentlichen Abständen der Prozentsatz der Tiere bestimmt, die sich noch in ihren ersten Wohnhöhlen befanden. Indirekt kommt man so zur Mobilität, dem Prozentsatz der Larven, die ihre Wohngespinste verlassen haben.

| Versuchstemperatur | | Versuchsdauer (Wo.) 1 | 2 | 3 |
|---|---|---|---|---|
| konstant | 5 | 14,3 | 28,6 | 28,6 |
| | 10 | 27,3 | 45,5 | 54,5 |
| | 20 | 75,0 | 100 | |
| +1 Temp.sch. pro Woche/9h | 5 | 50,0 | 50,0 | 100,0 |
| | 10 | 50,0 | 75,0 | 83,3 |
| | 20 | 100,0 | | |

Tabelle Nr. 35: Mobilität von Hydropsyche-Larven in Abhängigkeit der Temperatur. Angegeben ist der Prozentsatz Larven, der die ersten Wohnhöhlen verlassen hat. Versuchsdauer in Wochen.

Es ergaben sich die in der Tabelle Nr. 35 aufgeführten Ergebnisse. Betrachtet man zunächst die Verhältnisse bei den konstanten Wassertemperaturen, so erkennt man , daß sich die Mobilitätsrate mit steigender Temperatur erhöhte. Die geringste Mobilität zeigten erwartungsgemäß die Larven im 5 °C kalten Wasser, von denen auch nach drei Wochen nur 28,6 % aus ihren ersten Wohngespinsten geschlüpft waren. Im 10 °C Versuchswasser hatten schon nach der ersten Woche 27,3 % und nach der dritten Versuchswoche 54,5 % der Larven die Wohngespinste verlassen. Noch drastischer ist der Vergleich zu den Larven im 20 °C warmen Wasser. Hier war die Mobilitätsrate mit 75% in der ersten und 100 % in der zweiten Woche am größten. Zusammenfassend läßtsich im Hinblick auf die Mobilitätsrate nach der ersten Versuchswoche sagen, daß bei 10 °C die Mobilität fast doppelt so hoch und bei 20 °C mehr als fünfmal so hoch war wie bei 5 °C.

Entsprechend sehen die Result te bei den Schockversuchen aus. Bei diesen Versuchen wurde einmal in der Woche für 9 Stunden die Temperatur um 10 °C, bzw. um 8 °C (20 °C Versuch) erhöht. Die Unterschiede zwischen 5 °C und 10 °C waren nicht so signifikant wie bei den konstanten Temperaturen, lagen aber nach der ersten Woche um

das 3,5 fache (5 °C), bzw. um das 1,8 fache (10 °C) höher als bei den Versuchen mit konstanten Temperaturen. Bei 20 °C Schocktemperatur hatten nach der ersten Versuchswoche alle Larven die Wohngespinste verlassen.

Die Versuche mit Hydropsyche zeigen, daß die Mobilität (hier Verlassen der Wohngespinste) von der Temperatur im Sinne der RGT-Regel beeinflußt wird. Diese Beeinflussung wird noch vergrößert, wenn zusätzliche Temperaturschocks geboten werden.
Diese Befunde untermauern die Resultate der Driftuntersuchungen und bestätigen die Abundanzverhältnisse von Hydropsyche am "Auslauf".

### 3.2.4 Allgemeines Netzbauverhalten von Hydropsyche pellucidula sowie Netzbauverhalten in Abhängigkeit der Temperatur

In dem Kapitel 2.4.3.7 ist ausführlich das verstärkte Wachstum von HydropsycheLarven im warmen Auslaufwasser mitgeteilt worden. Seit langem ist bekannt, daß die Larven der Gattung Hydropsyche Fangnetze bauen. Der Zusammenhang zwischen dem Nahrungserwerb und dem Bau des Fangnetzes wird heute trotz einiger gegensätzlicher Auffassungen im Grunde nicht abgestritten. Im vorliegenden Fall stellte sich die Frage, inwieweit der Netzbau als solcher von der Temperatur abhängt und welche mögliche Verhaltensänderungen im Sinne RUPPRECHTS (1975) zu beobachten sind.
Über den Netzbau von HydropsycheLarven liegen relativ wenige Arbeiten vor. An ausführlichsten berichten SATTLER (1958) und KAISER (1965). Während SATTLER grundlegende Beobachtungen u.a. zur Anatomie der Larve und zum Spinnvorgang des Netzes macht, beschäftigt sich KAISER mit Untersuchungen zum Strömungssinn und Netzbau, wobei er in seinen Schlußfolgerungen aber auf Grund seiner Methoden keinesfalls überzeugen kann. Sowohl die Hälterungsmethode von SATTLER, als auch die von KAISER sind für vergleichende Netzstrukturanalysen hinsichtlich der mangelnden Konstanz der Strömungsgeschwindigkeit (Rohrleitungsdruck, Luftstrom) und der erheblichen Problematik bei der Netzentnahme nicht zu verwerten, besonders wenn man von einer Larve mehrere Netze mikroskopisch untersuchen will.
An neueren Arbeiten sind Untersuchungen von PHILIPSON (1969), SCHUHMACHER (1970) und PHILIPSON u. MOORHOUSE (1974) erschienen, in denen u.a. auf die Temperatur und die Strömungsgeschwindigkeit des Wassers als netzbauauslösende Faktoren hingewiesen wird.

KAISER, der bei seinen Untersuchungen Larven der Art H. angustipennis und H. pellucidula benutzte, berichtet (S.174): " ..andere Stoffe als Kork (Glas, Metall, Kunststoff usw.) wurden von den Larven abgelehnt. Es gelang nicht, sie in solchem Nistmaterial zum Fertigen ihrer Wohngehäuse, geschweige denn ihrer Fangnetze anzuregen".
Bei meinen Versuchen mit Larven von H. pellucidula kam ich hingegen zu einem ganz anderen Ergebnis. Von rund vierzig untersuchten Larven verließen nur zwei die als Wohnröhre fungierende Glasröhre, und das auch erst nach 24 Stunden Versuchsdauer.
Nachstehend wird kurz der Ablauf eines Netzbaues beschreiben :
Die Larve wurde außerhalb der Strömungsrinne in die Wohnröhre eingesetzt und begann, nachdem der Gießharzblock wieder in die Strömungsrinne eingepaßt worden war, mit einer flüchtigen Inspektion der Glasröhre. Dabei kam sie an der Eingangsöffnung bis zum dritten Thoraxsegment heraus und vollführte mit dem Kopf in der Umgebung der Eingangsöffnung Suchbewegungen. Diese Suchbewegungen dauerten etwa eine halbe Minute, wonach sich die Larve in die Wohnröhre zurückzog und mit der Auskleidung der Röhre durch Gespinnstmaterial begann. Wurde die Strömungsgeschwindigkeit, die bei allen Versuchen ca. 1,6 m/s betrug, während der Suchphasen vor der Eingangsöffnung auf 0,2 - 0,6 m/s verringert, dann dehnte die Larve die Suchphase sowohl zeitlich als auch räumlich aus, wobei sie letztlich die Wohnröhre verließ und strömungsexponiertere Stellen aufsuchte.
Dieses Verhalten zeigt, daß neben der "körpergerechten" Wohnröhre erwartungsgemäß die hohe Strömungsgeschwindigkeit für den Verbleib der Larven ausschlaggebend war. In allen bisherigen Arbeiten ist auf eine hohe Strömungsgeschwindigkeit als wichtigste Voraussetzung für das Vorkommen der Hydropsyche-Larven hingewiesen worden.
Die Dauer der Tapezierung der Wohnröhren mit Spinnsekret war individuell verschieden und wie die gesamte Aktivität der Larven temperaturabhängig. Bei 20 °C dauerte eine solche Tapezierung 4 bis 12 Stunden, bevor die Larve mit dem Bau des Vorhofs und des Fangnetzes begann.
Hierzu suchte sie mit pendelnden Kopfbewegungen in der Umgebung der Wohnröhre Ansatzpunkte für den Netzbau. Dazu waren lediglich sechs Stahlnadeln vorhanden. Nachdem sie die ersten vier Nadeln gefunden und durch mehrere Fäden miteinander verbunden hatte , begann sie mit dem Bau des Netzrahmens. Dieser bestand aus Fäden zwischen

den Stäben links und rechts der Wohnröhrenöffnung, sowie aus Haltefäden von den Nadeln zum Boden, die an Stahltrossen erinnerten und - sofern sie bis zu den äußersten Stäben ausgedehnt waren - den Vorhof darstellten. Ein typisches komplettes Fanggespinst ist nachfolgend abgebildet.

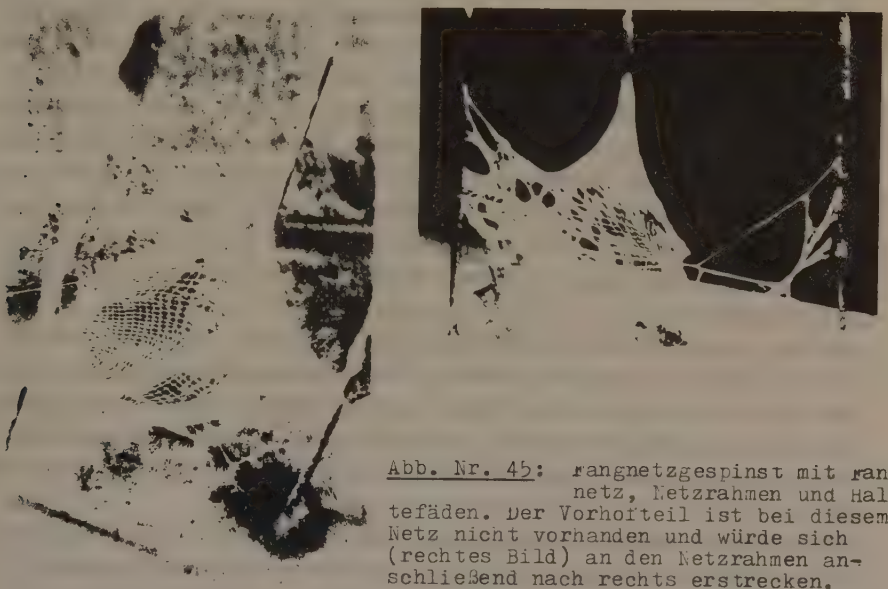


Abb. Nr. 45: Fangnetzgespinst mit Fangnetz, Netzrahmen und Haltefäden. Der Vorhofteil ist bei diesem Netz nicht vorhanden und würde sich (rechtes Bild) an den Netzrahmen anschließend nach rechts erstrecken.

Bevor die Larve nun mit dem eigentlichen Fangnetzbau begann, wurden fast sämtliche zuerst gezogenen Fäden zwischen den mittleren und den linken Stäben (auf Abb. Nr. 39) aufgefressen. Dieses Verhalten beobachtete Sattler (1958) ebenfalls.
Der Fangnetzbau, der bei 20 °C und ungestörtem Ablauf ca. 10 Minuten dauerte, folgte auch bei unterschiedlichen Temperaturen im großen und ganzen dem von SATTLER (1958) beschriebenen Verhaltensablauf, so daß an dieser Stelle auf eine ausführliche Schilderung verzichtet werden kann.

Notwendig erscheint es jedoch auf folgendes hinzuweisen:

SATTLER (1955, 1958) hat in seinen Arbeiten dargestellt, daß die Larve bei einem normalen, ungestörten Netzbau die Fangfäden abwechselnd von rechts und links zieht. Das Fadenstück eines z.B. von links oben nach rechts unten gezogenen Fadens bezeichnet er bis zu der Stelle, an der der Faden auf die schon vorhandenen, von rechts oben nach links unten gezogenen Fäden als A-Faden, und das restliche Fadenstück, das auf die vorhandenen Fäden geklebt wird, als B-Faden. Diese Benennung ist nicht kritisierbar. Unzwecksmäßig ist dagegen, daß KAISER 1965 in seiner Arbeit die Benennung nicht beibehält und nun von Kettfaden (A-Faden) und Schußfaden (B-Faden) spricht, obwohl er sich über die Fehlbenennung im klaren ist (" diese der menschlichen Weberei entnommenen Begriffe treffen für diesen Fall nur teilweise zu". S. 171).
Der von ihm erwähnte "Webeffekt" rechtfertigt in keiner Weise die beiden Begriffe, die bei einem Hydropsyche-Netz völlig falsch sind. Bei einem Hydropsyche-Netz wird an keiner Stelle gewebt. Der "Webeffekt" kommt ja nur dadurch zustande, daß die Fäden abwechselnd von links und rechts gezogen werden, oder, wie es SATTLER ausdrückt, daß die B-Fäden auf den A-Fäden zu liegen kommen.
Die Erklärung KAISERS (" Dieser Effekt kommt dadurch zustande, daß die Kettfäden abwechselnd von beiden Seiten her gezogen werden, nicht aber zuerst alle Kettfäden und dann die Schußfäden" S. 199) ist auf Grund seiner unzutreffenden Begriffe mißweisend und im letzten Teil unverständlich. Im Prinzip meint er sicherlich nichts anderes als SATTLER.
KAISER sagt in seiner Arbeit weiter:"....das Netz wird durch die Anordnung der Fäden natürlich noch fester als ein einseitig verklebtes Maschenwerk" (S.199). Unklar ist, was er unter einem einseitig verklebten Maschenwerk versteht. Das Aufkleben der Fäden ist immer gleich, egal ob zuerst die Fäden von rechts oben nach links unten und dann von links oben nach rechts unten gezogen werden, oder ob die Larve sie abwechselnd zieht.
Weiterhin kann ohne umfassende Untersuchungen nichts zur Stabilität der Netze gesagt werden. Ad hoc ist jedenfalls nicht einzusehen, wieso die Netze der zweiten Kategorie stabiler sein sollen , als die Netze der ersten Kategorie.

SATTLER vermutet, daß die Netze kaum länger als zwei Tage in Gebrauch sind, während KAISER hierfür rund 14 Tage angibt. Nach meinen Beo-

bachtungen ist diese Dauer abhängig davon, wie oft ein Netz durch eindriftende Organismen und Detritus beschädigt wird. Kleine Netzreparaturen werden von der Larve vorgenommen. Wenn sie sich jedoch häufen wird das Fangnetz alsbald aufgefressen und neugebaut. Mehrmals konnte ich beobachten, daß ein Netz ohne Reparatur rund 6 Tage in Gebrauch war.

Der Netzbau der Hydropsyche-Larven wird von mehreren Faktoren gesteuert. SATTLER vermutet auf Grund seiner Beobachtungen, daß der Netzbautrieb offenbar von dem exogenen Faktor Temperatur abhängt, dagegen ist nach seiner Meinung die Verpuppung unabhängig davon. PHILIPSON (1969), der den Netzbau von H. instabilis untersuchte, wies nach, daß bei 2 und 6 °C eine erhebliche Anzahl Larven Fangnetze bauten. Die meisten Netze entstanden bei 12 °C. Höhere Wassertemperaturen verringerten den Prozentsatz netzbauender Larven: "The biggest nets were produced at 18 °C, although the percentage of netsspinners at this temperature was lower than at 12 °C. At 2 °C all nets were very small and in sharp contrast with those obtained at the other temperatures, but nevertheless they were functional " (S.372).
Dagegen kommt SCHUHMACHER (1970), der sowohl H. instabilis, als auch H. saxonica Larven untersuchte, zu einem anderen Resultat. Bei 8 °C baute keine der Larven ein Netz. Erst mit langsamer Erwärmung des Wassers auf 10 - 12 °C war ein Einsetzen der Netzbauaktivität zu verzeichnen. Zwischen 21 und 25 °C hatten alle Larven ein Netz gebaut. Wurde allerdings die Temperatur stufenweise verringert, so bauten die Larven noch zwischen 8 und 9 °C Fangnetze. Das Einsetzen des Netzbautriebes liegt also nach seinen Befunden um einige Grade höher als das Aussetzen des Netzbaues.
Entsprechendes teilt KAISER (1965) mit, wonach auch er bei einer Wassertemperatur unter 8 °C keine Netzbauten mehr feststellen konnte.
In einer neueren Arbeit untersuchen PHILIPSON und MOORHOUSE (1974) u.a. die Häufigkeit des Netzbaues in Abhängigkeit der Wassertemperatur und der Strömungsgeschwindigkeit bei den Arten H. instabilis und pellucidula sowie bei H. angustipennis. Das Resultat dieser Untersuchung ist, daß bei allen Arten mit steigender Strömungsgeschwindigkeit (10,20 und 40 cm/s) der Prozentsatz netzbauender Larven ansteigt. Außerdem ist dieser Prozentsatz in großem Maße von der Temperatur abhängig.
Bis zu einem bestimmten Temperaturwert (H. instabilis = 12 °C; H. pellucidula = 18 °C; H. angustipennis = 25 °C) ist ein Zunehmen

der Netzbauten zu verzeichnen. Bemerkenswert ist die Tatsache, daß alle drei Arten unter 8 °C Netze erstellen.

Die Angaben von SCHUHMACHER und KAISER werden durch meine Untersuchungen bestätigt. 20 H. pellucidula-Larven des 4. und 5. Stadiums wurden bei konstanten Temperaturen (5,10,15,20 und 25 °C) in der bei SATTLER (1958) angegebenen Methode gehalten. Lediglich die Kieselsteine wurden durch Kunststoffgaze ersetzt. Tabelle Nr. 36 zeigt die Ergebnisse.

| | | Wassertemperatur | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
| Versuchsdauer (h) | 24 | 0 | 45 | 90 | 90 | 70 |
| | 48 | 0 | 55 | 95 | 90 | 75 |
| | 72 | 0 | 55 | 100 | 90 | 80 |
| | 96 | 0 | 65 | --- | 95 | 80 |

Tabelle Nr. 36: Prozentsatz der netzbauenden Larven einer H. pellucidula Population in Abhängigkeit der Wassertemperatur.

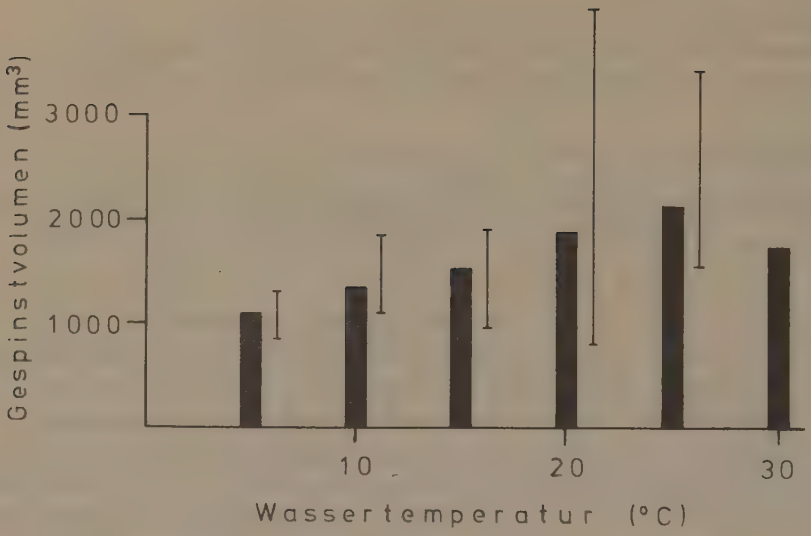
Bei 5 °C war keine Netzbauaktivität zu beobachten. Lediglich die Wohngespinste wurden fertiggestellt. Ansonsten waren die Larven inaktiv. Bei 10 °C hatten bereits nach 24 h 45 % und nach 96 h 65 % der Larven ein Netz gefertigt. Die höchste Netzbauaktivität war bei 15 °C festzustellen, wo nach 72 h alle Larven ein Netz gebaut hatten. Bei 20 °C wurden fast gleiche Werte festgestellt. Die Netzbauaktivität verringerte sich bei 25 °C auf maximal 80 %. Ursachen hierfür dürften u.a. in der allgemeinen hohen Mobilität der Larven zu suchen sein.

Der Anstieg der Wassertemperatur bedingt also bis zu einer Temperatur von 20 °C ein Anstieg der Netzbauhäufigkeit, wobei die Zunahme innerhalb der Versuchsdauernur relativ gering ist. Ergänzend zu dieser Versuchsreihe wurden je 30 Larven bei den bekannten Schocktemperaturen 5 °C - 15 °C - 5 °C gehältert, wobei die jeweilige Phasenlänge 4, bzw. 12 Stunden betrug.

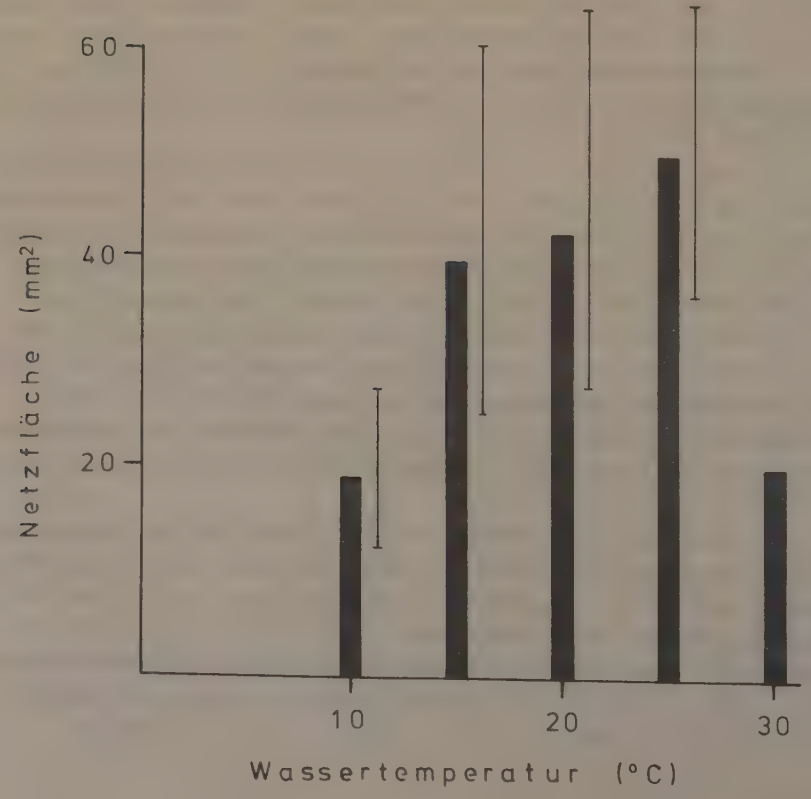
| Versuchsdauer (Stunden) | Hälterungstemperaturen | |
|---|---|---|
| | 5 °C-15 °C-5 °C/4h | 5 °C-15 °C-5 °C/12 |
| 24 | 0 | 46,7 |
| 96 | 16,7 | 56,7 |

Tabelle Nr. 37: Prozentsatz netzbauender Larven einer Hydropsyche-Population bei Schocktemperaturen. Phasendauer 4 und 12 Stunden.

Der Prozentsatz der fangnetzbauenden Hydropsyche-Larven war bei der längeren Phasendauer weitaus größer als bei den nur 4 Stunden kurzen Heiz- und Kühlphasen, wie aus der Tabelle Nr. 37 zu ersehen ist. Zwar konnte man bei dem Kurzphasenversuch einige Fäden erkennen, jedoch handelte es sich nicht um Netze. Dagegen fertigten bei den 12 Stunden Phasen im gleichen Zeitraum bereits46,7 % der Larven ein Netz. Nach 96 Stunden (4 Tagen) hatten bei der 4 Stunden Phasendauer 16,7 % ein Netz gebaut und bei der 12 Stunden Phasendauer 56,7%. Nachdem die Beeinflussung dieser allgemeinen Netzbauaktivität durch die Temperatur nachgewiesen worden ist, erhebt sich die Frage, inwieweit die verschiedenen Parameter des Netzes, wie Netzfläche, Maschenfläche, Gespinstvolumen, etc. konstant oder auch von der Wassertemperatur abhängig sind.
Mit Hilfe der in Kapitel 3.1 geschilderten Hälterungsmethode wurden insgesamt 40 Hydropsyche-Netze von 18 Larven anhand von Rasterelektronenaufnahmen analysiert. In der Tabelle Nr. 38 sind die wichtigsten Parameter aufgeführt, welche bei der Analyse registriert wurden. Unter Gespinstvolumen ist der gesamte umbaute Raum gemeint, also Vorhof, Fangnetzteil und Sicherungsfäden (siehe Abbildung Nr. 45). Die Netzlänge, Netzbreite und Netzfläche beziehen sich auf das eigentliche Fangnetz. Zur Bestimmung der Maschenfläche (Maschenlänge x Maschenbreite des Innenraumes) wurden aus jedem Netz ca. 30 Maschen an jeweils der gleichen Stelle ausgezählt. Dieser Bereich ist in der Abbildung Nr. 49 eingezeichnet.
Aus der nachstehenden Tabelle Nr. 38 ist in den Abbildungen Nr. 46 a,b und c d s Gespinstvolumen, die Netzfläche und die Maschenfläche graphisch dargestellt. Angegeben ist in den Diagrammen ferner die Variationsbreite (Maximum - Minimum).
Das Gespinstvolumen (Abb. 46 a) nahm mit steigender Wassertemperatur zu. Das kleinste Volumen mit 1076 $mm^3$ hatten die bei 5 °C angefertigten Gespinste, während die 25 °C Gespinste mit 2162 $mm^3$ am


Gespinstvolumen (mm³)
3000
2000
1000
10
20
30
Wassertemperatur (°C)

a


Netzfläche (mm²)
60
40
20
10
20
30
Wassertemperatur (°C)

b

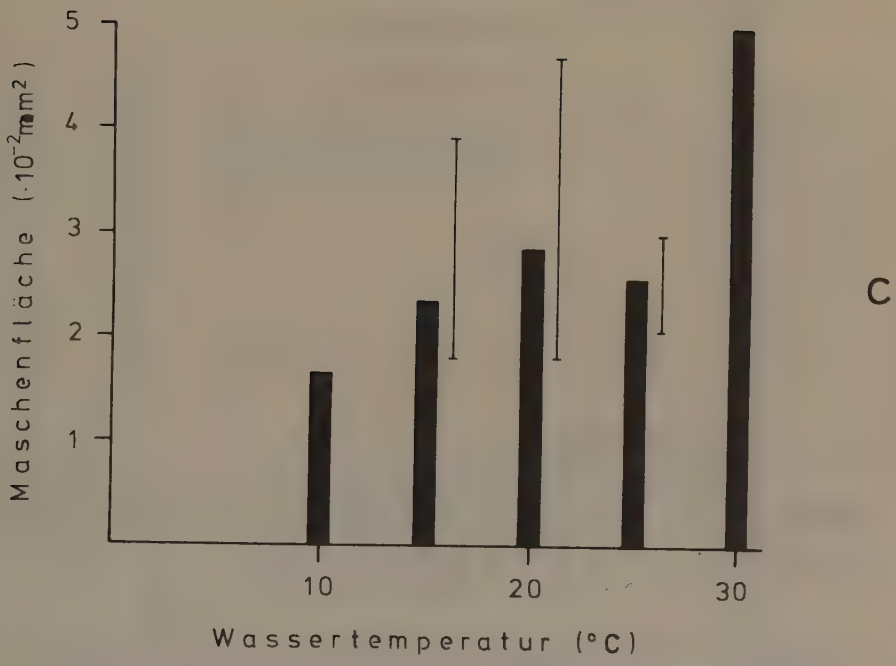



Abb. Nr. 46 a - c Gespinstvolumen, Netzfläche und Maschenfläche von 24 Hydropsyche — Fangnetzen. Angegeben sind die Mittelwerte sowie die Minimal- und Maximalwerte bei den verschiedenen Temperaturen

größten waren. Bei 30 °C konnte eine Verringerung des Gespinstvolumens verzeichnet werden, allerdings handelte es sich hierbei um einen Einzelbefund.

| | Wassertemperatur (°C) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Netzparameter | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 |
| Gespinstvolumen ($mm^3$) | 1076 | 1485 | 1520 | 1657 | 2162 | 2625 |
| Gespinsthöhe (mm) | 6,4 | 10,0 | 10,1 | 10,1 | 10,5 | 11,0 |
| Netzfläche ($mm^2$) | ---- | 19,0 | 39,7 | 42,1 | 49,7 | 19,7 |
| Netzlänge (mm) | ---- | 5,0 | 6,3 | 6,9 | 7,0 | 5,2 |
| Netzbreite (mm) | ---- | 3,8 | 6,3 | 6,1 | 7,1 | 3,8 |
| Maschenfläche ($x10^{-2}mm^2$) | ---- | 1,66 | 2,33 | 2,82 | 2,58 | 4,49 |
| Maschenlänge ($x10^{-1}mm$) | ---- | 2,18 | 1,98 | 2,27 | 2,20 | 3,05 |
| Maschenbreite ($x10^{-1}mm$) | ---- | 0,76 | 1,18 | 1,17 | 1,16 | 1,57 |
| Verhältnis $\frac{\text{Maschenlänge}}{\text{Maschenbreite}}$ | ---- | 2,8 | 1,7 | 2,0 | 1,9 | 1,9 |

Tabelle Nr. 38: Netzparameter in Abhängigkeit der Wassertemperatur. Mittelwerte aus 24 Netzen von 8 Hydropsyche pellucidula-Larven.

Mit steigender Temperatur nahm ebenfalls die Netzfläche der Fangnetze zu, wie aus der Abbildung Nr. 46 zu ersehen ist. Während bei 5 °C kein Fangnetz gebaut wurde, vergrößerte sich die Netzfläche von 19,0 $mm^2$ bei 10 °C auf 49,7 $mm^2$ bei 25 °C. Eine weitere Erhöhung der Wassertemperatur brachte eine Reduktion der Netzfläche auf 19,7 $mm^2$ mit sich. Wie das Gespinstvolumen und die Netzfläche, so wurde auch die Maschenfläche von der Wassertemperatur im positiven Sinne beeinflußt (Abb. Nr. 46 c). Von 1,66 x $10^{-2}mm^2$ bei 5 °C stieg die Maschenfläche bis auf 4,49 x $10^{-2}mm^2$ bei 30 °C.

Relativ schwierig gestalteten sich die Bemühungen von einer Larve bei möglichst vielen Temperaturstufen Netze (wenigstens zwei) zu erhalten. Schwierig deshalb, da sich alle Versuche auf Grund der Adaptationszeit von vier Tagen bei jeder Temperaturstufe als recht langwierig gestalteten.

Meistens war es so, daß nach zwei Wochen Versuchsdauer sich die Larven an anderern Stellen ansiedelten und dabei oftmals in den Einflußbereich der Heizschlangen und der Wasserpumpen kamen, wobei sie in der Regel verendeten.

| Netzparameter | Wassertemperatur (°C) konstant | | | | Wassertemperatur (°C) Schock 15 - 25 - 15/4h | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | $18_1$ | $18_2$ | Mittel |
| Gespinstvolumen ($mm^3$) | 1100 | 1815 | 4088 | 3375 | 3105 | 2244 | 2674 |
| Gespinsthöhe (mm) | 11,0 | 11,0 | 13,0 | 12,5 | 12,0 | 11,0 | 11,5 |
| Netzfläche ($mm^2$) | 27,0 | 49,0 | 73,6 | 64,0 | 45,0 | 33,0 | 39,0 |
| Netzlänge (mm) | 6,0 | 7,0 | 9,2 | 8,0 | 7,5 | 6,0 | 6,8 |
| Netzbreite (mm) | 4,5 | 7,0 | 8,0 | 8,0 | 6,0 | 5,5 | 5,8 |
| Maschenfläche ($x10^{-2} mm^2$) | 1,01 | 1,25 | 2,02 | 2,73 | 3,01 | 3,36 | 3,19 |
| Maschenlänge ($x\ 10^{-1}$mm) | 1,25 | 1,40 | 1,86 | 2,37 | 2,20 | 2,44 | 2,32 |
| Maschenbreite ($x\ 10^{-1}$mm) | 0,81 | 0,89 | 1,09 | 1,15 | 1,38 | 1,37 | 1,38 |
| Verhältnis: $\frac{\text{Maschenlänge}}{\text{Maschenbreite}}$ | 1,54 | 1,92 | 1,70 | 2,06 | 1,60 | 1,76 | 1,68 |
| Fadenbreite ($x\ 10^{-2}$ mm) | 1,18 | 1,28 | 1,29 | 1,52 | | 1,03 | |

Tabelle Nr. 39: Netzparameter von Hydropsyche-Netzen der Larve Nr.18. Bei den konstanten Wassertemperaturen handelt es sich um Mittelwerte von jeweils zwei oder drei Netzen. Bei den Schocktemperaturen mit einer vierstündigen Phasendauer baute sie nur zwei Netze ($18_1$ und $18_2$), die beide nur geringe Abweichungen in ihren Parametern zeigten.

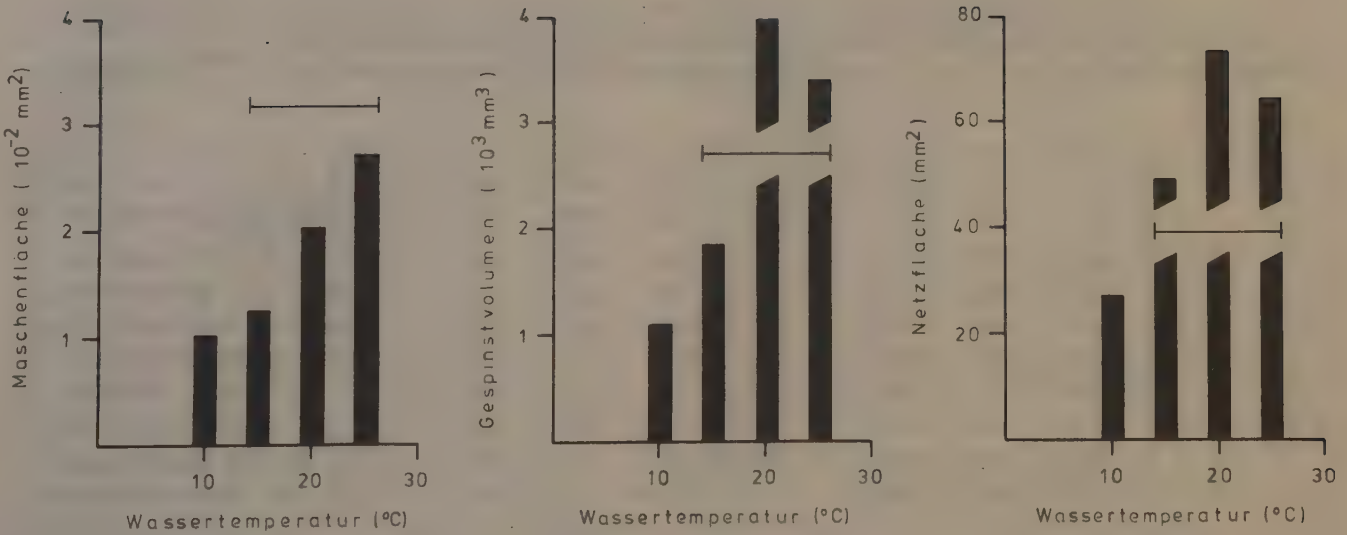



Abb. Nr. 47 a-c Maschenfläche, Gespinstvolumen und Netzfläche von Fangnetzen der Larve Nr. 18 bei verschiedenen Wassertemperaturen

⊢——⊣ = Werte bei Schockversuch 15-25-15 °C / 4 h

In der Tabelle Nr. 39 und den Abbildungen Nr. 47 a,b und c sind die Netzparameter der spinnfreudigen Hydropsyche-Larve Nr. 18 angeführt, die innerhalb von 29 Tagen bei den Temperaturen 10, 15, 20 und 25 °C Netze baute. Darüberhinaus fertigte sie auch bei den bekannten Schockverhältnissen (15 °C - 25 °C - 15 °C / 4h) zwei Netze an. Bei 30 °C wurde die Larve nicht getestet, um sie nicht dem Risiko des Hitzetodes auszusetzen.
Gespinstvolumen, Netzfläche und Maschenfläche waren auch hier in starkem Maße temperaturabhängig. So war das Gespinstvolumen bei 20 °C 3,7 mal so groß wie bei 10 °C, während sich bei einer Temperaturerhöhung auf 25 °C eine Verringerung des Volumens auf 3375 $mm^3$ ergibt.
Das Gespinstvolumen der in der Schockreihe angefertigten Netze lag mit 2674 $mm^3$ zwischen den Werten von 15 und 20 °C. Die Netzfläche zeigte zwischen 10 und 20 °C einen fast linearen Zuwachs. Bei 20 °C war sie mit 73,6 $mm^2$ rund 2,7 mal so groß wie bei 10 °C. Bei 25 °C nahm sie geringfügig ab. Die Fläche der Schocknetze betrug im Mittel 39 $mm^2$ und war somit kleiner als bei den 15 °C Netzen.
Die Maschenfläche stieg ebenfalls mit zunehmender Temperatur an, d.h. je höher die Wassertemperatur, um so größer wurden die Maschen. Auffallend war, daß die Maschenfläche bei den Schockversuchen weitaus größer als bei den Versuchen mit konstanter Temperatur war.

Unterschiede in der Gespinsthöhe konnten nicht registriert werden. Lediglich das Einzelgespinst bei 5 °C war mit einer Höhe von 6,4 mm am kleinsten. Bei den 24 ausgewerteten Netzen von 8 Individuen lag das Verhältnis von Maschenlänge zur Maschenbreite zwischen 1,7 und 2,8, bei der Hydropsyche-Larve Nr.18 schwankte es zwischen 1,5 und 2,0. Eine direkte Abhängigkeit des Verhältnisses zur Wassertemperatur konnte nicht erkannt werden.

Zur Frage wie die Maschengröße bestimmt wird, sind SATTLER und KAISER unterschiedlicher Auffassung.
SATTLER (1958) sagt:

Es ist eine bekannte Tatsache, daß Schmetterlingsraupen beim Bau ihres Cocons Spinnfäden in Achtertouren legen; offenbar stellt diese Bewegungsform das Grundelement der Spinntätigkeit bei wohl allen Lepidopterenlarven dar...Unter den Trichopteren tritt dagegen anscheinend die Zickzackführung des Fadens mehr in den Vordergrund, die naturgemäß besser geeignet ist, Bauteile untereinander zu verbinden, was für die Lepidopteren ja in der Regel nicht in Betracht kommt. Abgesehen aber davon,daß man ohne Schwierigkeit die Achterbewegung aus der Zickzackbewegung oder auch die letztere sich aus der ersteren abgeleitet denken kann, ist bei der Austapezierung der Wohnröhre

sowie besonders beim Bau des Puppencocons einwandfrei zu beobachten, daß die sich einspinnende Hydropsyche-Larve den Spinnfaden in, wenn auch ziemlich flachen, Achterschlingen legt (S. 165-167). Nach meinem Dafürhalten kann man also das Hydropsyche-Netz für eine gleichsam aus der Wohnröhrenwand hinaus verlegte und schräg an die Röhrenmündung angesetzte, überproportionierte Achtergruppe erklären (S. 169)".

SATTLER findet in seiner umfassenden Arbeit, wie auch in einem später erschienen Werk (1965) keine Anhaltspunkte für ein Messen der Maschengröße durch die Larven:

"Gegen die naheliegende Vermutung des Vorhandenseins fester "Maßstäbe" am Larvenkörper, mit denen die beiden Seitenlängen der Netzmaschen festgelegt werden, spricht aber u.a. eine meist festzustellende Größenzunahme der Maschen zur Netzperipherie hin (S.378)".

Diese Beobachtung SATTLERS konnte auch durch meine Untersuchungen bestätigt werden, wie aus der Abbildung Nr.49 zu ersehen ist.

KAISER 1965 muß an dieser Stelle vorgehalten werden, daß er die Arbeit von SATTLER (1958) anscheinend nicht aufmerksam genug gelesen hat, wie sonst ist es zu verstehen, daß er auf den Seiten 218 und 219 SATTLER falsch wiedergibt:

"SATTLER (1958) hat versucht, das regelmäßige Fangnetz vom Coconbau der Puppen abzuleiten. Man wird auch nur widerstrebend einer Ableitung von einem späteren Entwicklungsstadium zustimmen, wenn gerade die jüngsten Larven die vollkommensten Fangnetze bauen."

KAISER versteht das Fangnetz als Teil des Gehäuses, " das unter strenger Systematisierung des Fadenverlaufs und der Fadenabstände in die Strömung projiziert wurde (S. 221)".

Im Gegensatz zu SATTLER sucht nun KAISER in den Maxillarpalpen das Meßwerkzeug für die Maschenabstände: "Die Palpen stellen dabei gewissermaßen die seitliche Begrenzung dieser Bewegung und damit den großen Maschenabstand dar. Der kleine Maschenabstand wird weniger exakt bestimmt,....wird also durch den Abstand des Spinnfingers vom Submentum repräsentiert (S.217,218)".

Die von KAISER dargestellten Untersuchungen zum Einfluß der Maxillarpalpen rechtfertigen auf Grund des m.Ansicht nach schwerwiegenden körperlichen Eingriffs (Entfernung beider Maxillarpalpen, hierbei Verlust von Hämolymphe) in keiner Weise die oben angeführten Schlußfolgerungen, zumal ja KAISER andererseits dann selbst auf Seite 216 sagt: "Sehr erstaunlich ist es, daß Tiere mit nur einem Maxillarpalpus nach 3 - 5 Tagen die Fähigkeit zurückgewinnen, regelmäßige Netze zu bauen".

Auf Grund meiner eigenen auf den vorstehenden Seiten dargestellten Untersuchungen zur Maschengröße muß ein festes Körpermaß (im Sinne

KAISERs), mit dem die Larve die Maschengröße mißt, abgelehnt werden! Ursache der Temperaturabhängigkeit der Netzparameter (Gespinstvolumen, Netzfläche und Maschenfläche) dürfte m. Meinung nach in der von der Wassertemperatur abhängigen allgemeinen Aktivität der poikilothermen Larven zu suchen sein. Hierauf weisen auch die von STRENG (1974) mit einem Computer simulierten Untersuchungen, nach denen u.a. die Maschengröße von der Geschwindigkeit des Spinnvorgangs beeinflußt wird: je höher die Geschwindigkeit, um so größer die Maschenfläche.

Bei den Netzen der Larve Nr. 18 wurde ferner die Fadenbreite bestimmt. Ausgewertet wurden nur die A-Fäden, da bei den B-Fäden, sobald sie auf die vorhandenen Fäden geklebt werden, durch den elastischen Zug Formveränderungen auftreten. Die Ergebnisse zeigen, daß eine - wenn auch geringe - Änderung der Fadenbreite bei den verschiedenen Temperaturen vorliegt. Festgestellt wurde bei der Auswertung der Rasterelektronenbilder, daß der Spinnfaden eine unterschiedliche Struktur besitzen kann. SATTLER 1958 sagt zum Spinnfaden auf Grund seiner anatomischen Untersuchungen "der stets gleichmäßig aktiven Spinndrüsen: Das aus der Spinnwarze austretende Sekret stellt allemal einen Doppelfaden dar (S. 141)".
Dieser Doppelfaden ist im Prinzip bei allen Netzen sehr schön zu erkennen. Abbildung Nr. 50 zeigt in der Mitte einen Faden, der von rechtsoben nach links unten gezogen wurde (das Bild wurde von hinten aufgenommen). Bis zu der Stelle an der der Faden als A-Faden fungiert, ist diese Doppelsträngigkeit gut zu sehen. Danach wird dieser Eindruck durch das Aufkleben auf den schon gezogenen Faden verwischt. An diesen Stellen wird der Faden durch Druck aufgepresst, wodurch er sich verbreitert. Das der Faden an den Klebestellen den vorhandenen Faden umfließt, wie es KAISER in seiner Arbeit sagt, halte ich für ausgeschlossen; wenigstens konnte ich es bei keinem meiner Netze beobachten. Auf einigen Bildern war statt eines Doppelfadens ein "Dreierfaden" festzustellen (Abbildung Nr. 51). Ursprünglich war ich der Auffassung, daß es sich hierbei tatsächlich um einen dreisträngigen Faden handeln müsse, zumal bei H. pellucidula ja auch Maxillardrüsen nachgewiesen wurden. Spinntätigkeit wurde von ihnen jedoch noch nicht beobachtet. Makrofilmaufnahmen mit einer Beaulieu Kamera 4008 ZM II von dem Spinnvorgang zeigten einwandfrei, daß der Spinnfaden aus der unpaaren Spinnwarze austritt und ohne jegliche andere erkennbare Drüsentätigkeit zum Netzbau verwandt wird. Die "Dreisträngigkeit" konnte mit Hilfe von Rasterelek-

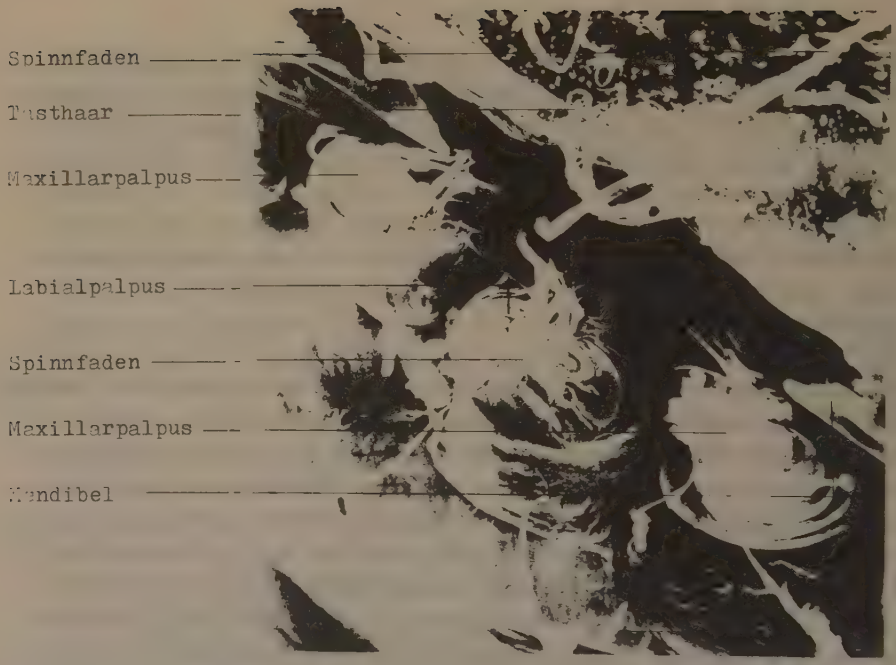



Abb. Nr. 48: REM Aufnahme der Mundregion einer HydropsycheLarve. V = 1170

Abb. Nr. 49:

Maschenteil eines Fangnetzes. Die Unregelmäßigkeiten am rechten Bildrand sind bei der Fixierung entstanden. Eingezeichnet ist die Region aus der die Maschenflächen ausgemessen wurden. REM Aufnahme; V = 40

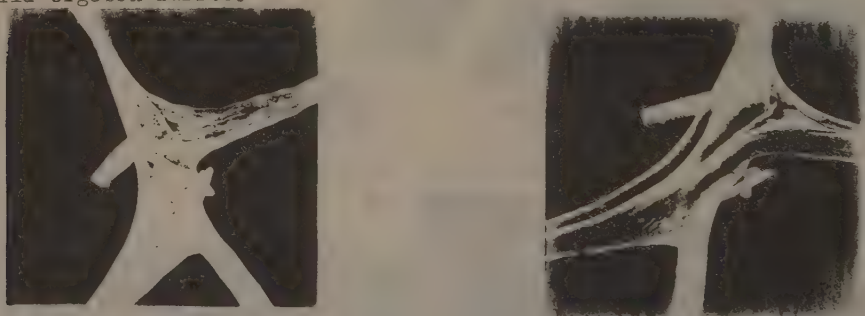
Abb. 50:

Maschen eines Hydropsyche-Netzes in 370 facher Vergrößerung. Deutlich ist die Doppelsträngigkeit der Fäden zu erkennen.
REM Aufnahme

Abb. Nr. 51:

Ausschnitt aus einem Hydropsyche-Netz.
Die horizontalen Fäden erscheinen dreistrangig. REM Aufnahme;
V = 180

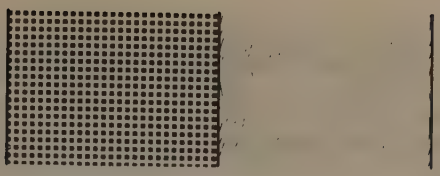
tronenbildern von der Mundregion spinnender Hydropsyche-Larven geklärt werden. Abbildung Nr. 48 zeigt in 1170 facher Vergrößerung in Bildmitte die unpaare Spinnwarze, aus der der Spinnfaden austritt. Seine Doppelsträngigkeit ist gut zu erkennen. Durch die Fixierung hat sich der Faden unter die Oberlippe geschoben und liegt - zwischen den beiden Sinnesborsten verlaufend - auf der Oberlippe auf. Betrachtet man den Faden genauer, so ist rechts oben im Bild zu erkennen, daß der Faden hier dreisträngig erscheint. Diese Dreisträngigkeit kommt nun dadurch zustande, daß die beiden Spinndrüsen keinesfalls gleichmäßig aktiv sind, wie es SATTLER fordert, sondern daß eine aktiver sein kann als die andere. Hierbei wird dann der Faden, der von der relativ inaktiven Drüse erzeigt wird und somit dünner ist als der andere Faden, in den anderen Faden hineingepresst, so daß sich im Querschnitt das in der Abbildung Nr. 52 b dargestellte Bild ergeben dürfte.



a b

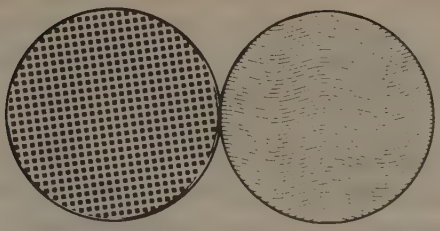
Abb. Nr. 53 a,b: Kreuzungsstelle zweier Spinnfäden mit Diatomeen. a = Rückseite, b = Innenseite. REM Aufnahmen; V = 500

In der Aufsicht zeigt sich dann die vermeintliche Dreisträngigkeit, die im Grunde keine ist. Das Klebesekret, das den Spinnfaden sowohl durchsetzt, als ihn auch in einer dünnen Hülle umgibt, bewirkt, daß auf den Fäden Algen und Bakterien festkleben. Ob die Klebewirkung über einen längeren Zeitraum andauert oder nur für den Moment des Fadenziehens vorliegt, vermag ich nicht zu sagen. Mit Hilfe der Labrumhaare wird das Netz durch charakteristische Wischbewegungen gereinigt, so daß auf der Innenseite die Fäden sauber aussehen, während sie auf der Rückseite voller Bakterien und Diatomeen sind. Abbildung Nr. 53 a,b zeigt eine Kreuzungsstelle von der Netzinnen- und Netzrückseite.



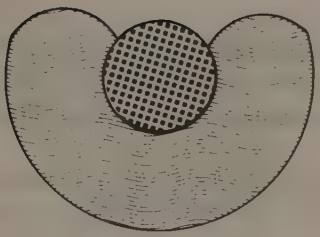
Aufsicht

a

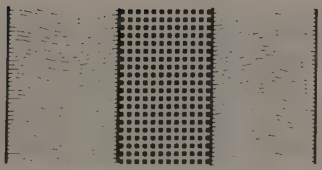


Querschnitt

b



Querschnitt



Aufsicht

Abb Nr 52 a,b Spinndoppelfaden bei gleichmäßiger (a) und ungleichmäßiger (b) Drüsenaktivität

### 3.2.5 Toxizität von Blei bei unterschiedlichen Wassertemperaturen

Aus zahlreichen Arbeiten ist bekannt, daß mit steigender Temperatur die Resistenz gegenüber Umwelteinflüssen (z.B. Schwermetalle) verringert wird. Dieses Phänomen gewinnt bei der Gewässererwärmung durch Kraftwerke besondere Bedeutung, da die meisten Kraftwerke an stark belasteten Flußläufen liegen. Bislang sind aber die Wechselwirkungen zwischen Gewässererwärmung, Giftstoffe und Biozönose - wohl auf Grund der Kompexität - zu wenig beachtet worden.

Unterhalb des Untersuchungsgebietes münden im Stadtgebiet von Altena die beiden Bäche Rahmede und Nette in die Lenne. Beide Bäche führen nach Untersuchungen des chemischen Labors des Ruhrverbandes in Essen erhebliche Menge hochtoxischer, aus der Metallverarbeitung stammende Abwässer mit sich(u.a. Blei, Zinn, Zink, Cadmium).Hinzu kommen noch große Mengen häuslicher Abwässer.
Stichprobenuntersuchungen zwischen Altena und Nachrodt im Frühjahr 1975 ergaben, daß die Benthalfauna in diesem Bereich sich hauptsächlich aus Herpobdella und Chironomiden zusammensetzte. Die aus dem Untersuchungsgebiet bekannte hohe Abundanz von Hydropsyche konnte mit 30-50 Individuen pro Quadratmeter nicht erreicht werden. Wenngleich dieses Phänomen sehr vielschichtig ist und sicherlich mannigfache Ursachen haben wird, so interessiert doch in diesem Zusammenhang,inwieweit sich bei Hydropsyche die Resistenz gegenüber verschiedenen Metallen bei unterschiedlichen Temperaturen verhält.

Aus diesem Grund wurde in Laborversuchen die Letalkonzentration (LC 50%) von Blei bei verschieden Temperaturen untersucht.
Nach Vorversuchen wurde der Bereich zwischen 4,0 und25,0 mg Pb/l in geometrischer Folge unterteilt. Tabelle Nr. 40 zeigt die Ergebnisse. Mittelwert und Konfidenzbereich des wahren Mittelwertes wurden auch hier nach SPEARMAN-KÄRBER (siehe Kapitel 3.2.1) errechnet.
Danach lag bei einer Wassertemperatur von 10 °C die LC 50% in den ersten 24 Stunden bei 17,4 mg Pb/l, während sie sich in weiteren 24 Stunden (48 Stunden nach Versuchsbeginn) auf 9,4 mg Pb/l verringerte. Eine Erhöhung der Temperatur um 10 °C auf 20 °C brachte nach 24 Stunden Versuchsdauer eine Verminderung der LC 50% um ca. 63,8 % auf 6,3 mg Pb/l mit sich. Nach insgesamt 48 Stunden hatte sich dieser Wert nur noch unbedeutend auf 5,2 mg Pb/l verringert. Gegenüber dem entsprechenden Wert bei 10 °C lag eine Reduktion um 44,6 % vor.

Wassertemperatur 10 °C

| Konzentration (mg Pb/l) | Larven | Sterblichkeitsrate (%) 24 h | 48 h |
|---|---|---|---|
| 4,0 | 14 | 0 | 0 |
| 5,2 | 14 | 0 | 0 |
| 6,8 | 14 | 0 | 21,4 |
| 8,8 | 14 | 0 | 57,1 |
| 11,4 | 14 | 7,3 | 64,3 |
| 14,9 | 14 | 14,4 | 85,7 |
| 19,4 | 14 | 71,4 | 100,0 |
| 25,2 | 14 | 100,0 | |
| | LC 50% | 17,4 | 9,4 |
| | Vertrauensbereich 95% | 15,9 - 19,1 | 8,2 - 10,6 |

Wassertemperatur 20 °C

| Konzentration (mg Pb/l) | Larven | Sterblichkeitsrate (%) 24 h | 48 h |
|---|---|---|---|
| 4,0 | 14 | 0 | 7,1 |
| 5,2 | 14 | 35,7 | 57,1 |
| 6,8 | 14 | 42,9 | 85,7 |
| 8,8 | 14 | 100,0 | |
| | LC 50% | 6,3 | 5,2 |
| | Vertrauensbereich 95% | 5,7 - 6,9 | 4,7 - 5,7 |

Tabelle Nr. 40: Sterblichkeitsrate von Hydropsyche-Larven und mittlere letale Bleikonzentrationen bei 10 und 20 °C .

Aus diesen Daten ist zu erkennen, daß die Resistenz von H. pellucidula-Larven gegenüber Bleibelastungen temperaturabhängig ist. Steigende Wassertemperatur bedingt eine deutliche Verringerung der LC 50% Werte, d.h. eine Erhöhung der Toxizität.
Ergänzend hierzu wurden Metallanalysen von insgesamt 120 Hydropsyche-Larven der Untersuchungspunkte "Auslauf" und "Biesenberg" vorgenommen*, welche in ihren Resultaten keine erkennbaren Temperaturabhängigkeiten zeigten.

* Frau Chem.Ing. STÖHR, Ruhrverband Essen, danke ich für die Analysen.

| Datum | Metall | Untersuchungspunkte "Biesenberg" | "Auslauf" |
|---|---|---|---|
| 7/74 | Kupfer | 550 | 420 |
| | Nickel | 140 | 170 |
| | Zink | 3200 | 3000 |
| | Cadmium | 11 | 27 |
| 4/75 | Blei | 59 | 40 |
| | Kupfer | 20 | 16 |
| | Nickel | 26 | 36 |
| | Zink | 2400 | 2200 |
| | Cadmium | 7 | 9 |
| | Kobalt | 20 | 20 |
| 6/75 | Blei | 46 | 41 |
| | Kupfer | 16 | 17 |
| | Nickel | 26 | 28 |
| | Zink | 860 | 640 |
| | Cadmium | 15 | 11 |
| | Kobalt | 20 | 20 |

Tabelle Nr. 41: Metallwerte von Hydropsyche-Larven nach atomabsorptionsspektrometrischer Analyse. Angaben in mg/kg Trockengewicht.

Zusammenfassung von Kapitel 3.2

1. Eine höhere Adaptationstemperatur bewirkte in der Regel eine höhere Letaltemperatur. Die Höhe der Letaltemperatur sank mit der Zeitdauer der Temperatureinwirkung. Hydropsyche hatte die höchsten, Epeorus die niedrigsten Letaltemperaturwerte.
2. Temperaturschocks beeinflußten in starkem Maße die Hydropsyche-Emergenz. Bei einer 12 Stunden Phasendauer war die Verlustrate mehr als doppelt so hoch wie bei einer 4 Stunden Phasendauer. Die meisten Hydropsyche-Individuen verendeten im Puppenstadium.
3. Epeorus-Larven zeigten bei plötzlichen Temperaturschocks eine sehr hohe Mortalität.
4. Steigende Wassertemperaturen bedingten eine erhöhte Mobilität von Hydropsyche-Larven, welche durch zusätzliche Temperaturschocks noch vergrößert wurde.

5. Die meisten Fangnetze bauten Hydropsyche-Larven bei 15 und 20 °C. Bei 5 °C wurden keine Fangnetze angefertigt. Die Netzbaufrequenz wird durch Temperaturschocks signifikant beeinflußt. Die Verringerung der Frequenz ist bei kurzer Schockphasendauer größer als bei einer 12 Stunden Phasendauer.
6. Mit Hilfe einer neuen Methode konnten mehrere Netze einer Larve mikroskopisch untersucht werden.
7. Gespinstvolumen, Netzfläche und Maschenfläche nahmen mit steigender Temperatur zu.
8. Ein festes Körpermaß zum Messen der Maschenfläche muß daher abgelehnt werden.
9. Die Resistenz von Hydropsyche-Larven gegenüber Blei war sowohl von der Wassertemperatur, als auch von der Einwirkungsdauer abhängig.

## 4. Diskussion

Eine Verminderung der Artenzahl durch die Abwärme von Kraftwerken konnte an zahlreichen nordamerikanischen Flüssen nachgewiesen werden. An den teilweise bis auf 40 °C aufgeheizten Untersuchungspunkten lagen Artenfehlbeträge bis zu 73 % vor (Zusammenfassung bei DETERS 1972).
Obwohl die sommerkalte Lenne durch die Abwärme des Kraftwerkes Elverlingsen nur bis maximal 25,5 °C aufgeheizt wurde, zeigte sich an dem thermisch stark belasteten Punkt "Auslauf" ein Artenfehlbetrag von 65 %.
Der auf Grund zahlreicher Laborversuche erhobene Einwand, daß es durch eine künstliche Erhöhung der Wassertemperatur zu einer Vorverlegung der Schlüpftermine bei aquatilen Insekten kommen kann, konnte im Lenneuntersuchungsgebiet einwandfrei für die Trichopterenart Hydropsyche pellucidula CURT. festgestellt werden. Verantwortlich ist hierfür die Verkürzung des Ruhestadiums während der Wintermonate, in dem normalerweise die Larven wegen der niedrigen Wassertemperatur keine Mobilität zeigen und in einer Kältestarre ohne große Nahrungsaufnahme die Wintermonate überstehen. Mit steigender Wassertemperatur ändert sich das Verhalten jedoch dahingehend, daß neben einer Zunahme der allgemeinen Mobilität ab 10 °C die zum Nahrungserwerb benötigten Fangnetze gebaut werden, wie im Kapitel 3.2.4 dargestellt wurde.

Die Zunahme des Gespinstvolumens und der Netzfläche mit steigender Temperatur beruht ebenfalls auf der zunehmenden Mobilität der Tiere, möglicherweise liegt hierin auch die Ursache für die Flächenvergrößerung der Netzmaschen. Ob hierdurch die mit einer Vergrößerung der Netzfläche ansteigende Fängigkeit der Netze wieder verringert wird, trifft allenfalls nur für Mikroorganismen zu. Für die Hauptbeutetiere (Chironomiden- und Ephemeriden-Larven; siehe auch SATTLER 1958, S. 173) spielen die Unterschiede in der Maschengröße sicherlich keine bedeutende Rolle.

Die Möglichkeit, daß es durch die Vorverlegung der Schlüpftermine zum Aussterben von Arten kommen kann (RUPPRECHT 1975), ist generell gegeben, wenngleich man auch von Fall zu Fall differenzieren muß. Zwar sterben die im Februar geschlüpften Imagines auf Grund unpassender klimatischer Verhältnisse ab, jedoch fällt dieser Prozentsatz wegen der starken Abundanz oberhalb und weiter unterhalb des Kraftwerkes nicht ins Gewicht, wenn man die Hydropsychepopulation des gesamten Gebietes betrachtet.

Anders sieht es aus, wenn an einem Flußlauf Kraftwerk auf Kraftwerk folgt, so daß die Wassertemperatur auch nicht nur annähernd auf den Ausgangswert zurückfallen kann. Hier kann es dann zu Nachschubschwierigkeiten aus dem thermisch unbelasteten Flußlauf von oben kommen.

Auffallend ist in dem stark erwärmten Lennebereich "Auslauf" das Fehlen von kaltstenothermen Organismen, wie z. B. Epeorus, Dinocras, Polycelis u.a., sowie das starke Vorkommen von Herpobdella und der gleichzeitige Rückgang von Hydropsyche pellucidula. Fischereibiologisch ist dies negativ zu bewerten, da Herpobdella von Fischen bekanntermaßen nicht als Nahrung aufgenommen wird, während Hydropsyche ein hochwertiges Fischnährtier darstellt. So muß befürchtet werden, daß es bei einer entsprechend größeren thermischen Belastung, als es bei dieser Untersuchung der Fall war, durch die Verminderung der Hydropsyche-Biomasse auch zu negativen Beeinflußung der Fischpopulation kommen kann.

Anhand der im Lenneuntersuchungsgebiet gewonnenen Ergebnisse ist ebenfalls deutlich geworden, daß die Hauptgefahr einer Aufheizung unserer Gewässer weniger in der Aufheizung als solcher, sondern vielmehr in den damit verbundenen sehr plötzlichen Temperaturänderungen zu suchen ist.

Durch plötzliche Temperaturschocks wird z. B. bei Hydropsyche eine Fluchtdrift ausgelöst, die am "Auslauf" zu der geringen Abundanz und Biomasse führt. Geradezu katastrophal wirken sich Temperaturschocks auf die Hydropsyche-Emergenzaus, wobei die Individuen im Puppenstadium am empfindlichsten sind.
Auf die Gefahr dieser Temperaturschocks ist bislang nur von sehr wenigen Autoren hingewiesen worden (z.B. ELSTER 1968), obwohl sie - wie am Beispiel Hydropsyche dargestellt - die Organismen weitaus stärker beeinflußen als die generelle Temperaturerhöhung. Dies bestätigt sich besonders deutlich am Untersuchungspunkt "Bauer", der einen Artenfehlbetrag von 45 % hat, obwohl dieser Punkt nur selten aufgeheizt wird und die Temperaturerhöhung gegenüber"Biesenberg" deshalb nur 0,8 °C im Mittel beträgt.
Die Untersuchungen an der Lenne haben gezeigt, daß die Aufheizung für bestimmte Glieder der Benthalzoozönose schwerwiegende Folgen haben kann. Hierbei muß daran erinnert werden, daß es sich bei der Lenne um einen relativ sauberen Fluß mit einer im Mittel weit unter dem geforderten Höchstmaß liegenden Aufheizung handelt.
Daher erscheint der für sommerkühle Gewässer pauschal geforderte Grenzwert von 25 °C (Übersicht bei DETERS 1972) problematisch, da die organische Belastung und eine eventuelle thermische Vorbelastung des Vorfluters nicht berücksichtigt werden. Grenzwerte sollten von Fall zu Fall und dabei unter der Berücksichtigung des jeweiligen Gewässerzustandes festgelegt werden. Ferner ist bei den geforderten Grenzwerten zu beachten, daß die maximalen Temperaturwerte im Regelfall ohnehin nur während der Sommermonate auftreten können. Zu einem Zeitpunkt also, zu dem die Einlauftemperaturen, d.h. die Normaltemperaturen naturgemäß sowieso schon hoch sind, wodurch die Aufheizungseffekte weniger ins Gewicht fallen dürften.(steigende Adaptationstemperatur = steigende Letaltemperatur).
Weitaus bedenklicher ist es, wenn während der Wintermonate, in der die Flüße teilweise Temperaturen von unter 5 °C haben, auf 10 bis 15 °C aufgeheizt wird. Viele Organismen benötigen für eine erfolgreiche Beendigung ihres Entwicklungszykluses niedrige Wassertemperaturen (HYNES 1960; LEHMKUHL 1972), während andere Arten, so auch Hydropsyche, keinesfalls an eine Kälteperiode gebunden sind, sondern sich bei Ausbleiben der niedrigen Wassertemperaturen ungestört weiter entwickeln ("Quieszenz","fakultative und obligate Diapause"; LAUDIEN 1972).

Hieran wird deutlich, daß ebenso wie sommerliche Grenztemperaturen auch Maximalwerte für die Wintermonate unbedingt erforderlich sind. Über deren Höhe kann generell nichts gesagt werden, vielmehr müssen sie in jedem einzelnen Fall auf die jeweilige Phyto- und Zoozönose des Gewässers abgestimmt werden. D i e Grenztemperatur gibt es nicht. Bestimmte Benthosgruppen werden schon bei Temperaturerhöhungen von 1 °C, andere erst bei 8 °C oder 15 °C geschädigt, so daß es hinsichtlich dieser biologischen Variabilität unmöglich ist alle Organismen in ein durch Grenzwerte fixiertes Temperaturregime zu pressen. Ferner ist zu beachten, daß zahlreiche Tierarten in bestimmten Entwicklungsstadien besonders empfindlich auf Temperaturänderungen reagieren (Hydropsyche = Puppenstadium).
Die autökologischen Untersuchungen an Hydropsyche haben schließlich gezeigt, daß auch der Begriff Grenztemperatur einer Revision bedarf. Schon weit unter der Letaltemperatur kommt es bei Hydropsyche-Larven zu einer erheblichen Beeinflussung des Verhaltens (Drift, Mobilität, Netzbau), die - über einen längeren Zeitraum gesehen - die gesamte Entwicklung der Population in Frage stellt.
Die Forderung von RUPPRECHT 1975 bei einer Gewässeraufheizung nicht nur die oberen Letaltemperaturen, sondern schon die Temperaturschwellen als Alarmzeichen zu betrachten, bei denen sich die Verhaltensweisen der Tiere ändern, kann auf Grund der bei Hydropsyche pellucidula durchgeführten Untersuchungen unterstützt werden.
Die Aufwärmspanne sowie die Aufheizungs- und Abkühlungsgeschwindigkeiten unserer Gewässer ließe sich durch gesetzliche Regelungen, wie sie z.B. in den USA praktiziert werden, in vertretbaren Grenzen halten.
Es ist notwendig abschließend noch einmal darauf hinzuweisen, daß die vorliegende Untersuchung an einem sauberen Fließgewässer durchgeführt wurde, wodurch der Temperatureinfluß isoliert, d.h. ohne Störeinflüsse durch organische Belastung betrachtet werden konnte. Die geplanten und im Bau befindlichen Kraftwerke, die heute Leistungen von über 1000 MW haben, liegen dagegen durchweg an stark verschmutzten Gewässern (Rhein, Weser, Main).
Bei diesen Fließgewässern kommen neben den Aufheizeffekten noch die zahlreichen Wechselwirkungen zwischen der Temperatur, der jeweiligen Belastung und der Biozönose hinzu, die größtenteil - wie am Beispiel der Bleitoxizität im Kapitel 3.2.5 dargestellt wurde - temperaturabhängig sind.

Die Abhängigkeit der Mortalitätsrate von der Wassertemperatur und der Abwasserkonzentration konnte NUSCH (unveröffentlicht; zit. nach KOPPE 1974) sehr schön bei der an höhere Temperaturen adaptierten Goldorfe (Idus idus melanotus) zeigen. Die höchsten Abwasserkonzentrationen wurden bei 10 °C ertragen, während sowohl bei einer Erhöhung, als auch bei einer Erniedrigung der Temperatur nur geringere Abwasserkonzentrationen von den Fischen ausgehalten wurden.

Für eine standortgerechte Kraftwerksplanung sind Untersuchungen, die sich mit der Temperaturabhängigkeit von Schadstoffeinflüssen auf die Biozönose befassen, neben weiteren Felduntersuchungen an Kraftwerken dringend erforderlich!

## 5. Zusammenfassung

1. Durch die Kühlwässer des Kraftwerkes Elverlingsen wird die Lenne unterhalb des Werkes aufgeheizt. Die höchsten Temperaturen konnten in der Nähe des Auslaufpilzes registriert werden, wo zwischen 1973 und 1975 die Lennetemperatur im Mittel 6,5 °C höher lag als oberhalb des Kraftwerkes. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes lag die maximale Auslauftemperatur bei 25,5 °C. Der Chemismus der Lenne, speziell der Sauerstoffhaushalt, wird durch die Aufheizung nicht signifikant beeinflusst.
2. Auf Grund dieser Aufheizungen kommt es an den Untersuchungspunkten unterhalb der Warmwassereinleitungen zu Artenfehlbeträgen bis zu 65 %.
3. Hydropsyche pellucidula CURT. (Trichoptera, Insecta), an allen Untersuchungsstellen zur dominanten Organismenklasse gehörend, besitzt am "Auslauf" die geringste Abundanz. Herpobdella octoculata L. (Hirudinea, Annelida), oberhalb des Kraftwerkes subrezedent, gehört am Auslauf zur dominanten Klasse.
4. Während der Wintermonate kommt es für die Larven von H. pellucidula im warmen Auslaufwasser zu einem Ausbleiben des Quieszenzstadiums, so daß die Imagines auf Grund des verstärkten Larvalwachstums schon im Februar und damit drei bis vier Monate eher schlüpfen als oberhalb. Die Flugzeit von H. pellucidula beginnt

zwar unterhalb des Kraftwerkes rund vier Wochen eher als oberhalb, zeigt jedoch im großen und ganzen den gleichen Verlauf wie oberhalb (Maximum im Juli).

5. Hydropsyche- und Chironomiden-Larven reagieren auf Kälte- und Wärmeschock ohne Bezug zur Tageszeit mit einer Fluchtdrift.

6. Die Letaltemperatur (LT 50%) von Hydropsyche-, Epeorus- und Dinocras-Larven ist abhängig von der Adaptationstemperatur und steigt mit zunehmender Adaptationstemperatur.

7. Die Emergenz von Hydropsyche wird in starkem Maße von Temperaturschocks beeinflusst. Hierbei sind drei Faktoren wichtig: Adaptationstemperatur, Temperaturerhöhung und Schockdauer. Besonders anfällig ist Hydropsyche gegenüber Temperaturschocks im Puppenstadium.

8. Es wird eine Methode vorgestellt, mit der es möglich ist mehrere Fangnetze einer Hydropsyche-Larve vergleichend zu untersuchen.

9. Das Netzbauverhalten ist stark temperaturabhängig, insbesondere gegenüber Temperaturschocks. Gespinstvolumen, Netzfläche und Maschenfläche nehmen mit steigender Temperatur zu. Ein festes körpermaß zum Messen der Maschenlänge und Maschenbreite im Sinne KAISERs 1965 existiert demnach nicht.

10. Die Resistenz von Hydropsyche-Larven gegenüber Blei wird ebenfalls durch steigende Wassertemperaturen negativ beeinflusst.

11. Es wird auf die Gefahr der Temperaturschocks und der Aufheizung der Gewässer während der Intermonate hingewiesen. Grenztemperaturen berücksichtigen nur in einem minimalen Maße die Temperaturanforderungen der hier untersuchten Organismen.

Es ist dringend erforderlich, daß auf Grund von Gesetzen den Kraftwerksbetreibern von Fall zu Fall Einleitungsbedingungen vorgeschrieben werden, gemäß denen sowohl festgesetzte Aufheizhöchstwerte, als auch Höchstwerte für Aufheiz- und Abkühlungsgeschwindigkeiten nicht überschritten werden.

## 6. Literaturverzeichnis

ALABASTER, J.S. (1963): The effect of heated effluents on fish. Int. Air Water Poll., 7, 541 - 563

APPOURCHAUX, M. (1972): Effects de l'echauffement de l'eau par les centrales thermiques. Techniques et Sciences Municipales, 66, 12, 453 - 457

ASH, G.R.; CHYMAKO, N.R.; GALLUP, D.N. (1974): Fish kill due to "cold shock in lake Wabamun, Alberta. J. Fish. Res. Board Can. , 31, 11 1822 - 1824

ASTON, R.J. (1973): Field and experimental studies on the effects of a power station effluent on tubificidae. Hydrobiologica, 42, 2/3, 225 - 242

ASTON, R.J.; BROWN, D.J.A. (1975): Local and seasonal variations in populations of the leech Erpobdella octoculata (L.) in a polluted river warmed by condenser effluents. Hydrobiologia, 47, 2/3, 347 - 366

BECKMANN, H. (1953): Die geologische Geschichte des Kreises Altena. In : Das Herz des Märkischen Sauerlandes, Altena

BICK, H.; BERTRAM, R. (1973): Experimentell-ökologische Untersuchungen der Populationsdynamik von Aufwuchsciliaten unter besonderer Berücksichtigung des Temperaturfaktors. Forschungsberichte des Landes NRW, Nr. 2266, Opladen

BOHLE, H.W. (1969): Untersuchungen über die Embryonalentwicklung und die embryonale Diapause bei Baetis vernus CURTIS und Baetis rhodani (PICTET) (Baetidae, Ephemeroptera). Zool. Jb. Anat., 86, 493 - 575

---------- (1972): Die Temperaturabhängigkeit der Embryogenese und der embryonalen Diapause von Ephemerella ignita (PODA) (Insecta, Ephemeroptera). Oecologia, 10, 253 - 268

BRUNGS, W.A. (1971): Chronic effects of constant elevated temperature on the fathead minnow (Pimephales promelas RAFINESQUES). Trans. Am. Fish. Soc., 4, 659 - 664

BURTON, D.T.; MORGAN, E.L.; CAIRNS, J.Jr. (1972): Mortality curves of bluegills (Lepomis macrochirus RAF.) simultaneously exposed to temperature and zinc stress. Transact. Americ. Fish. Soc., 101, 3, 435 - 441

CAIRNS, J. Jr. (1956): Effects of increased temperatures on aquatic organisms. Industrial Wastes, 1, 150 - 152

----------; MESSENGER, D. (1974): An interim report on the effects

of prior exposure to sublethal concentrations of toxicants upon the tolerance of snails to thermal shocks. Arch. Hydrobiol., 74, 441 - 447

CAIRNS, J.Jr. und SCHEIER, A. (1957): The effects of temperature and hardness of water upon toxicity of zinc to common bluegill (Lepomis macrochirus RAF.). Not.Nat.Acad.Nat.Sci., Philadelphia, No. 299, 12 Seiten

CASPERS, H. und KARBE, L. (1967): Vorschläge für eine saprobiologische Typisierung unserer Gewässer. Int. Revue ges. Hydrobiol., 52, 2, 145 - 162

CAVALLI-SFORZA, L. (1972): Biometrie, 3. Auflage, Stuttgart

CHERRY, D.S.; DICKSON, K.L. und CAIRNS, J.Jr. (1975): Temperatures selected and avoided by fish at various acclimation temperatures. J.Fish.Res. Board Can., 32, 485 - 491

CLOUD, T.J. und STEWART, K.W. (1974): Seasonal fluctuations and periodicity in the drift of caddisfly larvae (Trichoptera) in the Brazos River, Texas. Ann. of the Entomol. Soc. America, 67, 5, 805 - 811

COUNTANT, C.C. und PFUDERER, H.A. (1974): Thermal effects. J.Wat.Poll. Cont.F., 46, 6, 1476 - 1540

---------- und TALMAGE, S. (1975): Thermal effects. J.Wat.Poll. Cont.F., 47, 6, 1656 - 1711

CRICHTON, M.I. (1971): A study of caddis flies (Trichoptera) of the familiy Limnephilidae, based on the Rothamsed insect survey, 1967 - 1968. Journ. Zool., 163, 533 - 563

DETERS, E. (1972): Limnologische Probleme der sogenannten thermalen Verunreinigung. Uni. Bonn

DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung (1960), Weinheim, Bergstraße

DITTMAR, H. (1953): Sauerland - Trichopteren. Decheniana, 107, 105 - 118

---------- (1955): Ein Sauerlandbach. Arch. Hydrobiol., 50, 305 - 552

---------- (1959): Reicht das bisherige Saprobiensystem für die Gütebeurteilung eines Gewässers aus? Forschung und Beratung, 8, 263 - 265

EDINGTON, J.M. (1964): The taxonomy of British polycentropid larvae (Trichoptera). Proc. zool. Soc. London, 143, 281 - 300

ELSTER, H.J. (1968): Einige limnologische und fischereiliche Gesichtspunkte zur Aufheizung unserer Fließgewässer durch Kühlwasser-Einleitungen. Fischwirt, Bd. 17-19, 298 - 307

FEY, J.M. (1975): Methode zur Analyse des Netzbauverhaltens der Köcherfliege Hydropsyche spec. (Trichoptera). Naturwissenschaften, 62, 12, 582

--------- und MERTSCHENK, E. (im Druck): Zur Ephemeropteren-, Plecopteren und Trichopterenfauna des Sauerlandes. Decheniana, 130

FREUDE, H.; HARDE, K.W. und LOHSE, G.A. (1971): Die Käfer Mitteleuropas. Bd. 3, Krefeld

FRIEDRICH, G. (1973): Ökologische Untersuchungen an einem thermisch anomalen Fließgewässer (Erft/Niederrhein). Schriftenreihe d. Landesanstalt für Gewässerkunde und Gewässerschutz d. Landes NRW, Heft 33

GRÜNWALD, H. (1976): Der Edelkrebs Astacus astacus (Linné 1758) in Nordrhein Westfalen. Decheniana, 129, 96 - 106

HADDERINGH, R.H. (1975): Effects og cooling water discharge on the macrofauna and fish populations around Flevo power station. Verh. Int. Verein. Limnol., 19, 2214 - 2218

HENNIGS, E. (o.J.): Lehna - Die Lenne. Beiträge zur Geschichte unseres Heimatflusses. Altena, 30 Seiten

HICKMANN, M. und KLARER, D.M. (1974): The growth of some epiphytic algaein a lake receiving thermal effluent. Arch. Hydrobiol., 74, 3, 403 - 426

HYNES, H.B.N. (1953): A key to the adults and nyhmphs of the british stoneflies. Freshw. Biol. Assoc., Publ. No. 17, Ambleside

---------- (1960): The biology of polluted waters. Liverpool University press

IBSCHER, L.; KELLER, A. (1975): Das "Rheodrom", eine neue Fliesswasser-Versuchsanlage. Schweiz.Zeitschr. f. Hydrologie, 37, 1, 187 - 192

ILLIES, J. (1955): Steinfliegen oder Plecoptera. In: DAHL, F.: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile, 43. Teil

---------- (1959): Retardierte Schlüpfzeiten von Baetis Gelegen. Naturwissenschaften, 46, 3, 119 - 120

---------- (1961): Versuch einer allgemeinen biozönotischen Gliederung der Fliessgewässer. Int. Revue ges. Hydrobiol., 46, 205 - 213

---------- (1974): Emergenzschwankungen - ein produktionsbiologisches Problem. Verh. Gesell. Ökologie, Tagung Saarbrücken 1973, 131 - 142

---------- (1975): A new attempt to estimate production in running waters (Schlitz studies on productivity, No. 12). Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, 1705 - 1711

JONES, N.V. (1976): Studies on the eggs, larvae and pupae of Tinodes waeneri L.. Proc. 1. Internat. Sympos. on Trichoptera in Lunz, Niederösterreich, 131 - 143

KAISER, P. (1965): Über den Netzbau und Strömungssinn bei den Larven der Gattung Hydropsyche PICT. (Insecta, Trichoptera). Int. Revue ges. Hydrobiol., 50, 169 - 224

KELLER, A. (1975): Die Drift und ihre ökologische Bedeutung - Experimentelle Untersuchungen an Ecdyonurus venosus (FABR.) in einem Fließwassermodell. Schweiz. Zeitschr. f. Hydrologie, 37, 2, 294 - 331

KELSO, J.R.M. (1976): Movement of Yellow Perch (Perca flavescens) and White Sucker (Catostomus commersoni) in a nearshore Great Lake habitat subject to a thermal discharge. J.Fish. Res. Board Can., 33, 42 - 53

KOOPS, F.B.J. (1974): Hydrobiological investigations on the consequences of the use of surface water for cooling purposes in the netherlands. 9. Weltenergiekonferenz in Detroit, 22 Seiten

---------- (1975): Plankton investigations near Flevo power station. Verh. internat. Verein. Limnol., 19, 2207 - 2213

KOPPE, P. (1974): Water pollution and the capacity of waters for waste heat. 9. Weltenergiekonferenz in Detroit, 22 Seiten

KOTHÉ, P. (1962): Der "Artenfehlbetrag", ein einfaches Gütekriterium und seine Anwendung bei biologischen Vorfluteruntersuchungen. Deutsche Gewässerkundl. Mitteil., 6, 3, 60 - 65

KRENKEL, P.A.; PARKER, F.L. (1969): Biological aspects of thermal pollution. Vanderbilt University Press, Nashville

LANGFORD, T.E. (1971): The distribution, abundance and life-histories of stoneflies and mayflies in a British river, warmed by cooling water from a power station. Hydrobiologia, 38, 2, 339 - 377

LAUDIEN, H. (1971): Über die Wirkung des Umweltfaktors Temperatur auf Farbe, Form, Entwicklung und Verhalten poikilothermer Tiere.

LEHMANN, U. (1967): Drift und Populationsdynamik von Gammarus pulex fossarum KOCH.. Z. Morph.Ökol. Tiere, 60, 227 - 274

LEHMKUHL, M.(1972): Change in thermal regime as a cause of reduction of benthic fauna downstream of a reservoir. J. Fish. Res. Board Can., 29, 1329 - 1332

MACAN, T.T. (1961): A key to the nymphy of the british species of Ephemeroptera. Freshwater Biological Association, Publ. No. 20, Ambleside

MALICKY, H. (1976): Trichopteren-Emergenz in zwei Lunzer Bächen 1972 - 1974. Schlitzer Produktionsbiologische Studien Nr. 14. Arch. Hydrobiol., 77, 1, 51 - 65

MARCY, B.C. (1971): Survival of young fish in the discharge canal of a power plant. J.Fish.Res.Board Can., 28, 1057 - 1060

MARKOWSKI, S. (1959): The cooling water of power stations: a new factor in the environment of marine and freshwater invertebrates. J.o.Animal Ecol., 28, 2, 243 - 258

MAY, E. (1933): Libellen oder Wasserjungfern (Odonata). In: Dahl: Die Tierwelt Deutschlands

MEIJERING, M.P.D. (1974): Quantitative Untersuchungen zur Drift und Aufwanderung von Gammarus fossarum (KOCH) in einem Mittelgebirgsbach. Verh.Gesell.Ökologie, Tagung Saarbrücken 1973, 143 - 147

MOSELY, M.E. (1939): The British caddi s flies.320 Seiten, London

MÜLLER, K. (1963): Temperatur und Tagesperiodik der "Organischen Drift" von Gammarus pulex. Naturwissenschfaten, 50, 410 - 411

---------- (1963 b): Tag- Nachtrhytmus von Baetidenlarven in der "Organischen Drift". Naturwissenschaften, 50, 161

---------- (1966): Die Tagesperiodik der Fließwasserorganismen. Z. Morph.Ökol.Tiere, 56, 93 - 142

---------- (1970): Die Drift von Insektenlarven in Nord- und Mitteleuropa. Österreichs Fischerei, 23, 5/6, 111 - 117

---------- (1973): Life cycles of stream insects. Aquilo Ser. Zool., 14, 105 - 112

----------; KURECK,A; MÜLLER-HAECKEL,A. (1963):Zur Tagesperiodik von Niphargus aquilex schellenbergi KARAMAN (Gammaridae, Amphipoda). Naturwissenschaften, 50, 17, 579 - 580

----------; ULFSTRAND, S. (1970): Die Tagesperiodik der Flugaktivität von Philopotamus montanus DON. und Rhyacophila nubila ZETT. (Trichoptera). Oikos, Supplementum 13, 80 - 86

NEBEKER,A.V. (1971 a): Effects of water temperature on nymphal feeding rate, emergence, and adult longevity of the stonefly Pteronarcys dorsata. J.o.Kans.Ent.Soc., 44, 1, 21 - 26

---------- (1971 b): Effect of temperature at different altitudes on the emergence of aquatic insects from a single stream. J.o. Kansas Ent.Soc., 44, 1, 26 - 35

---------- (1971 c): Effect of high winter water temperatures on adult emergence of aquatic insects. Water Research,5, 777 - 783

NOTON, L.R. (1975): The effect of thermal effluent on phytoplankton produktivitiy in Lake Wabamun, Alberta. Verh. intern. Verein. Limnol., 19, 542 - 551

NOVÁK,K. (1960): Entwicklung und Diapause der Köcherfliegenlarven Anabolia furcata BR.. Acta Soc.Entomol.Cechosl., 57, 3, 207 - 212

NURSALL,J.R.; GALLUP, D.N. (1971): The responses of the biota of Lake Wabamun, Alberta, to thermal effluent. Proceedings of the International Symposium on the Identification and Measurement of Environmental Pollutants, Ottawa; 295 - 304

NUSCH, E.A. (1970): Ökologische und systematische Untersuchungen der Peritricha (Protozoa, Ciliata) im Aufwuchs von Talsperren und Flußstauen mit verschiedenem Saprobitätsgrad (mit Modellversuchen). Arch. Hydrobiol. Suppl., 37, 243 - 386

---------- (1975): Möglichkeiten und Grenzen biologischer Gewässeruntersuchungen. Unveröff. Ms., 9 Seiten, Essen

PEARSON, W.D.; KRAMER, R.H. (1972): Drift and production of two aquatic insects in a montain stream. Ecological monographs, 24 365 - 385

PHILIPSON, G.N. (1969): Some factors affecting the net-spinning of the caddisfly Hydropsyche instabilis. Hydrobiologia, 34, 369 - 377

----------; MOORHOUSE, B.H.S. (1974): Observations on ventilatory and net-spinning activities of larvae of the genus Hydropsyche Pictet (Trichoptera, Hydropsychidae) under experimental conditions. Freshwater Biol., 4, 525 - 533

PRECHT, H. u.a. (1973): Temperature and Life; Springer Verlag Berlin

PROFFITT, M.A.; BENDA, R.S. (1971): Growth and movement of fishes, and distribution of invertebrates related to heated discharge into a heated discharge into the White River at Petersburg, Indiana. Water Resources Research Center Report, No. 5, Indiana University

REITTER, E. (1909): Coleoptera. In: BRAUER : Die Süßwasserfauna Deutschlands; Jena. Neudruck Weinheim/Bergstraße 1961

ROSENBOHM, G. (1963): Zur Geographie des Kreises Altena. In: Das Herz des Märkischen Sauerlandes, Altena. 2.Auflage

RUPPRECHT, R. (1975): The dependence of emergence-period in insect larvae on water temperature. Verh. Internat. Verein. Limnol., 19, 3057 - 3063

SATTLER, W. (1955): Über den Netzbau der Larve von Hydropsyche angustipennis. Naturwissenschaften, 42, 7, 186 - 187

---------- (1958): Beiträge zur Kenntnis von Lebensweise und Körperbau der Larve und Puppe von Hydropsyche PICT. mit besonderer Berücksichtigung des Netzbaues. Z.Morph.Ökol.Tiere, 47, 115 - 192

---------- (1965): Über Meßvorgänge bei der Bautätigkeit von Trichopteren-Larven (Trichoptera). Zool. Anzeiger, 175, 4/6, 378 - 386

SCHOENEMUND, E. (1930): Eintagsfliegen oder Ephemeroptera. In: DAHL: Die Tierwelt Deutschlands und der angrenzenden Meeresteile, 19.Teil

SCHUHMACHER, H. (1970): Untersuchungen zur Taxonomie, Biologie und Ökologie einiger Köcherfliegenarten der Gattung Hydropsyche PICT. (Trichoptera, Insecta). Int. Revue ges. Hydrobiol., 55, 4, 511 - 557

----------; SCHREMMER, F. (1970): Die Trichopteren des Odenwaldbaches "Steinach" und ihre

Hydrobiol., 55, 3, 335 - 358
SCHWERDTFEGER, F. (1975): Ökologie der Tiere - Synökologie. Parey Verlag, Hamburg
SCHWOERBEL, J. (1966): Methoden der Hydrobiologie. Kosmos Verlag Stuttgart
SEDLÁK, E. (1971): Bestimmungstabellen der Larven der häufigsten tschechoslowakischen Arten der Gattung Hydropsyche PICTET (Trichoptera). Acta ent. bohemoslow, 68, 185 - 187
SLÁDECEK, V. (1973): System of water quality from the biological point of view. Arch. Hydrobiol. Beiheft, 7, I-IV, 1 - 218
SOWA, R. (1970): Sur la taxonomie de Rhithrogena semicolorata (CURTIS) et de quelques espèces voisines d'Europe continentale (Ephemeroptera:Heptageniidae). Revue Suisse de Zoologie, 77, 4, 56, 895 - 920
STAUFFER, J.R.; DICKSON, K.L. und CAIRNS, J.Jr. (1974): A field evaluation of the effects of heated discharge on fish distribution. Water Resources Bulletin, 10, 5, 860 - 876
STRASBURGER, E. u.a. (1967): Lehrbuch der Botanik. 29. Auflage, Fischer Verlag Stuttgart
STRENG, R. (1974): Theoretische Betrachtung der Achtertour, ein bei kokonspinnenden Insektenlarven häufiges Bewegungsmuster. Z. Tierpsychol., 35, 157 - 172
SZCZESNY, B. (1974): Larvae of the genus Hydropsyche from Poland. Pol. Arch. Hydrobiol., 21, 3/4, 387 - 390
---------- (1975): Caddis-flies (Trichoptera) of the River Raba. Acta Hydrobiol., 17, 1, 35 - 51
TACK, E. (1972): Die Fische des südwestfälichen Berglandes mit Einschluß von Möhnetalsperre und Ruhr. Decheniana, 125, 12, 63 - 77
THIENEMANN, A. (1912 a): Die Tierwelt der Bäche des Sauerlandes. 40. Jahresbericht d. Westf. Provinzial-Vereins Münster, 43 - 83
---------- (1912 b): Der Bergbach des Sauerlandes. Int. Revue ges. Hydrobiol., Suppl. 4, 1 - 127
---------- (1939): Grundzüge einer allgemeinen Ökologie. Arch. Hydrobiol., 35, 267 - 285
TOBIAS, W. (1972 a): Zur Kenntnis europäischer Hydropsychidae, 1. Teil. Senkenbergiana biol., 53, (1/2), 59 - 89
---------- (1972 b): Zur Kenntnis europäischer Hydropsychidae, 2. Teil. Senkenbergiana biol., 53, (3/4), 245 - 268
---------- (1974): Kriterien für die Beurteilung des unteren Mains Courier Forschungsinstitut Senkenberg, 136 Seiten

TROTTIER, R. (1973): Influence of temperature and humidity on the emergence behavior of Anax junius (Odonata). Can. Entomol., 105, 975 - 984

TRIPS, M.; HAUFE, W.O. und SHEMANUCHUK, J.A. (1973): Embryonic development of Aedes sticticus (Culicidae) in relation to different constant temperatures. Can. Entomol., 105, 43 - 50

ULMER, G. (1909): Trichoptera. In: BRAUER: Die Süßwasserfauna Deutschlands, Heft 5/6. Neudruck Weinheim/Bergstraße 1961

WATERS, T.F. (1962): Diurnal periodicity in the drift of stream invertebrates. Ecology, 43, 316 - 320

---------- (1965): Interpretation of invertebrate drift in streams. Ecology, 46, 327 - 334

---------- (1968): Diurnal periodicity in the drift of a day-active stream invertebrate. Ecology, 49, 152 - 153

WHITAKER, J.O.Jr. und SCHLUETER, R.A. (1973): Effects of heated discharge on fish and invertebrates of White River at Petersburg, Indiana. Water Resources Research Center, Report No. 6 , Indiana

WURMBACH, H. (1968): Lehrbuch der Speziellen Zoologie, Fischer Verlag Stuttgart, 2. Auflage

ZELINKA, M. und MARVAN, P. (1961): Zur Präzisierung der biologischen Klassifikation der Reinheit fließender Gewässer. Arch. Hydrobiol., 57, 389 - 407

ZWICK, P. (1967): Revision der Gattung Chloroperla NEWMANN (Plecoptera). Mitteil. Schweiz. Entomol. Gesell., 40, (1/2), 1 - 26

UHLMANN, D. (1975): Hydrobiologie - EinGrundriß für Ingenieure und Naturwissenschaftler. Fischer Verlag Stuttgart

## 7. Anhang

Von Seite 155 bis Seite 165: Tabellen Anhang Nr. I - XI

MITTELWERT= 2,36 STANDARDABW.= 2,67
ANZAHL DER DIFFERENZWERTE= 19316

| TEMPERATUR-KLASSE | EINZELHAEUFIGKEIT ABSOLUT | EINZELHAEUFIGKEIT PROZENT. | SUMMENHAEUFIGKEIT ABSOLUT | SUMMENHAEUFIGKEIT PROZENT. |
|---|---|---|---|---|
| KLEINER 0,5 | 7921. | 41,0 | 7921. | 41,0 |
| KLEINER 1,0 | 1921. | 9,9 | 9842. | 51,0 |
| KLEINER 1,5 | 833. | 4,3 | 10675. | 55,3 |
| KLEINER 2,0 | 961. | 5,0 | 11636. | 60,2 |
| KLEINER 2,5 | 864. | 4,5 | 12500. | 64,7 |
| KLEINER 3,0 | 591. | 3,1 | 13091. | 67,8 |
| KLEINER 3,5 | 608. | 3,1 | 13699. | 70,9 |
| KLEINER 4,0 | 720. | 3,7 | 14419. | 74,6 |
| KLEINER 4,5 | 571. | 3,0 | 14990. | 77,6 |
| KLEINER 5,0 | 563. | 2,9 | 15553. | 80,5 |
| KLEINER 5,5 | 502. | 2,6 | 16055. | 83,1 |
| KLEINER 6,0 | 488. | 2,5 | 16543. | 85,6 |
| KLEINER 6,5 | 596. | 3,1 | 17139. | 88,7 |
| KLEINER 7,0 | 518. | 2,7 | 17657. | 91,4 |
| KLEINER 7,5 | 448. | 2,3 | 18105. | 93,7 |
| KLEINER 8,0 | 409. | 2,1 | 18514. | 95,8 |
| KLEINER 8,5 | 398. | 2,1 | 18912. | 97,9 |
| KLEINER 9,0 | 133. | 0,7 | 19045. | 98,6 |
| KLEINER 9,5 | 60. | 0,3 | 19105. | 98,9 |
| KLEINER 10,0 | 59. | 0,3 | 19164. | 99,2 |
| KLEINER 10,5 | 61. | 0,3 | 19225. | 99,5 |
| KLEINER 11,0 | 39. | 0,2 | 19264. | 99,7 |
| KLEINER 11,5 | 22. | 0,1 | 19286. | 99,8 |
| KLEINER 12,0 | 19. | 0,1 | 19305. | 99,9 |
| KLEINER 12,5 | 7. | 0,0 | 19312. | 100,0 |
| KLEINER 13,0 | 3. | 0,0 | 19315. | 100,0 |
| KLEINER 13,5 | 1. | 0,0 | 19316. | 100,0 |
| KLEINER 14,0 | 0. | 0,0 | 19316. | 100,0 |
| KLEINER 14,5 | 0. | 0,0 | 19316. | 100,0 |
| KLEINER 15,0 | 0. | 0,0 | 19316. | 100,0 |
| GROESSER15,0 | 0. | 0,0 | 19316. | 100,0 |

Tabelle Anhang Nr. I: Berechnung der Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen den Untersuchungspunkten "Einlauf" und "Bahndamm".

ZEITDAUERTABELLE(PROZENTUAL)

| | 0,25 | 0,50 | 1,00 | 2,00 | 4,00 | 8,00 | 16,00 | 32,00 | 64,00 | 128,00 | 256,00 | 512,00 | 1024,00 | 2048,00 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| KLEINER 0,5 | 0,217 | 0,311 | 0,725 | 1,312 | 2,265 | 6,976 | 12,554 | 4,996 | 6,976 | 3,981 | 3,979 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 1,0 | 0,668 | 0,476 | 0,888 | 1,514 | 2,071 | 3,044 | 1,507 | 0,500 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 1,5 | 0,538 | 0,269 | 0,489 | 0,976 | 0,518 | 1,142 | 0,302 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 2,0 | 0,490 | 0,311 | 0,598 | 1,144 | 0,712 | 1,522 | 0,302 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 2,5 | 0,425 | 0,311 | 0,471 | 0,538 | 0,647 | 1,142 | 0,302 | 0,999 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 3,0 | 0,342 | 0,217 | 0,471 | 0,572 | 0,712 | 1,015 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 3,5 | 0,476 | 0,280 | 0,471 | 0,707 | 0,582 | 0,507 | 0,251 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 4,0 | 0,487 | 0,404 | 0,634 | 0,471 | 1,035 | 0,507 | 0,302 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 4,5 | 0,544 | 0,373 | 0,707 | 0,740 | 0,388 | 0,381 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 5,0 | 0,425 | 0,466 | 0,562 | 0,707 | 0,324 | 0,634 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 5,5 | 0,476 | 0,311 | 0,399 | 0,572 | 0,518 | 0,381 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 6,0 | 0,364 | 0,383 | 0,417 | 0,740 | 0,493 | 0,127 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 6,5 | 0,471 | 0,445 | 0,544 | 0,808 | 0,777 | 0,254 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 7,0 | 0,364 | 0,269 | 0,689 | 0,606 | 0,194 | 0,507 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 7,5 | 0,476 | 0,362 | 0,381 | 0,673 | 0,493 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 8,0 | 0,290 | 0,300 | 0,344 | 0,740 | 0,493 | 0,127 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 8,5 | 0,238 | 0,228 | 0,217 | 0,505 | 0,493 | 0,381 | 0,251 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 9,0 | 0,160 | 0,124 | 0,145 | 0,168 | 0,129 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER 9,5 | 0,124 | 0,093 | 0,072 | 0,034 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER10,0 | 0,124 | 0,093 | 0,018 | 0,067 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER10,5 | 0,129 | 0,093 | 0,072 | 0,034 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER11,0 | 0,047 | 0,031 | 0,054 | 0,101 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER11,5 | 0,047 | 0,010 | 0,036 | 0,034 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER12,0 | 0,062 | 0,021 | 0,018 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER12,5 | 0,026 | 0,010 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER13,0 | 0,005 | 0,010 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER13,5 | 0,005 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER14,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER14,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER15,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| KLEINER15,5 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 |
| SUMME DER PROZENTZAHLEN = 107,10 | | | | | | | | | | | | | | |
| KLSMITTELW. | 0,25 | 0,50 | 0,88 | 1,63 | 3,13 | 6,13 | 12,13 | 24,13 | 48,13 | 96,13 | 192,13 | 384,13 | 768,13 | 1536,13 |

ANZAHL DER STUNDEN,FUER DIE DIFFERENZWERTE VORLIEGEN = 4829

Tabelle Anhang Nr. II: Zeitd uert belle (%) der Temperaturklassen zwischen den Untersuchungspunkten "Einl uf" und "B hndamm".

MITTELWERT= 1,88 STANDARDABW.= 2,10
ANZAHL DER DIFFERENZWERTE= 5006

| TEMPERATUR-KLASSE | EINZELHAEUFIGKEIT ABSOLUT | EINZELHAEUFIGKEIT PROZENT. | SUMMENHAEUFIGKEIT ABSOLUT | SUMMENHAEUFIGKEIT PROZENT. |
|---|---|---|---|---|
| KLEINER 0,5 | 1821. | 36,4 | 1821. | 36,4 |
| KLEINER 1,0 | 778. | 15,5 | 2599. | 51,9 |
| KLEINER 1,5 | 410. | 8,2 | 3009. | 60,1 |
| KLEINER 2,0 | 349. | 7,0 | 3358. | 67,1 |
| KLEINER 2,5 | 262. | 5,2 | 3620. | 72,3 |
| KLEINER 3,0 | 198. | 4,0 | 3818. | 76,3 |
| KLEINER 3,5 | 158. | 3,2 | 3976. | 79,4 |
| KLEINER 4,0 | 185. | 3,7 | 4161. | 83,1 |
| KLEINER 4,5 | 158. | 3,2 | 4319. | 86,3 |
| KLEINER 5,0 | 109. | 2,2 | 4428. | 88,5 |
| KLEINER 5,5 | 103. | 2,1 | 4531. | 90,5 |
| KLEINER 6,0 | 108. | 2,2 | 4639. | 92,7 |
| KLEINER 6,5 | 123. | 2,5 | 4762. | 95,1 |
| KLEINER 7,0 | 89. | 1,8 | 4851. | 96,9 |
| KLEINER 7,5 | 69. | 1,4 | 4920. | 98,3 |
| KLEINER 8,0 | 31. | 0,6 | 4951. | 98,9 |
| KLEINER 8,5 | 14. | 0,3 | 4965. | 99,2 |
| KLEINER 9,0 | 15. | 0,3 | 4980. | 99,5 |
| KLEINER 9,5 | 11. | 0,2 | 4991. | 99,7 |
| KLEINER 10,0 | 7. | 0,1 | 4998. | 99,8 |
| KLEINER 10,5 | 7. | 0,1 | 5005. | 100,0 |
| KLEINER 11,0 | 1. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 11,5 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 12,0 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 12,5 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 13,0 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 13,5 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 14,0 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 14,5 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| KLEINER 15,0 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |
| GROESSER 15,0 | 0. | 0,0 | 5006. | 100,0 |

Tabelle Anhang Nr. III: Berechnung der Häufigkeitsverteilung der Temperaturdifferenzen zwischen den Untersuchungspunkten "Einlauf" und "Münzwerkstatt".

| | Wasser-temperatur °C | pH | Sauerstoff-gehalt mg/l | Sauerstoff-sättigung % | $BSB_5$ gesamt mg/l | $BSB_5$ filtr. mg/l | $KMnO_4$ - Verbrauch gesamt mg/l | $KMnO_4$ - Verbrauch filtr. mg/l |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| "Einlauf" | 9,7 | 7,3 | 10,8 | 97 | 3,0 | 1,2 | 17,0 | 12,9 |
| "Auslauf" | 16,4 | 7,3 | 10,2 | 106 | 2,7 | 1,1 | 17,4 | 12,7 |
| "Münz - werkstatt" | 12,4 | 7,3 | 10,2 | 97 | 2,7 | 1,2 | 18,0 | 13,9 |

Tabelle Anhang Nr. 2: Die organische Belastung der Lenne. Angegeben sind die Mittelwerte von 120 Untersuchungen des Chemischen Labors des Ruhrverbandes, Essen, die von Februar 1974 bis Februar 1975 an den Untersuchungspunkten "Einlauf", "Auslauf" und "Münz-werkstatt" durchgeführt wurden.

| | | | |
|---|---|---|---|
| elektrische Leitfähigkeit 20 °C | mS/cm | : | 0,24 |
| Chlorid | mg/l | : | 20,0 |
| Sulfat | mg/l | : | 52,0 |
| Calcium | mg/l | : | 33,0 |
| Magnesium | mg/l | : | 5,7 |
| Natrium | mg/l | : | 10,0 |
| Kalium | mg/l | : | 3,0 |
| Bor | µ/l | : | 79,0 |
| Kupfer | µ/l | : | 50,0 |
| Nickel | µ/l | : | 50,0 |
| Zink | µ/l | : | 530,0 |
| Chrom | µ/l | : | <5,0 |
| Cadmium | µ/l | : | <5,0 |
| Blei | µ/l | : | 30,0 |
| Quecksilber | µ/l | : | 0,16 |
| Arsen | µ/l | : | 7,8 |
| Cyanid | µ/l | : | <5,0 |

Tabelle Anhang Nr. V: Anorganische Stoffe und toxisch wirkende Substanzen des Lennewassers am Punkt "Münzwerkstatt". Mittelwerte aus 50 Einzelmessungen zwischen Februar 1974 und Februar 1975. Zusammengestellt nach Angaben des Chemischen Labors des Ruhrverbandes in Essen.

| Organismen | saprobielle Valenz o | ß | a | p | Häufigkeit | Klassifizierung o | ß | a | p |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Melosira varians | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Achnantes lanceolata | 2,5 | 1,5 | | | 5 | 12,5 | 7,5 | | |
| Cymbella ventricosa | 0,5 | 1,5 | 2,0 | | 5 | 2,5 | 7,5 | 10,0 | |
| Synedra ulna | 1,0 | 3,0 | | | 6 | 6,0 | 18,0 | | |
| Stigeoclonium tenue | | 1,5 | 2,5 | | 6 | | 9,0 | 15,0 | |
| Fontinalis antipyretica | 2,0 | 1,5 | 0,5 | | 5 | 10,0 | 7,5 | 2,5 | |
| Ranunculus fluitans | 1,5 | 2,5 | | | 3 | 4,5 | 7,5 | | |
| Carchesium polypinum | | 0,5 | 3,5 | | 5 | | 2,5 | 17,5 | |
| Campanella umbellaria | | 1,0 | 3,0 | | 2 | | 2,0 | 6,0 | |
| Vorticella campanula | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Stylonychia mytilus | | 2,0 | 2,0 | | 5 | | 10,0 | 10,0 | |
| Trachelius ovum | | 0,5 | 3,5 | | 3 | | 1,5 | 10,5 | |
| Chilodonella unicata | | 1,5 | 2,5 | | 3 | | 4,5 | 7,5 | |
| Chaetogaster spec. | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 5 | 2,5 | 12,5 | 5,0 | |
| Polycelis nigra | 2,5 | 1,5 | | | 3 | 7,5 | 4,5 | | |
| Glossiphonia complanata | | 2,5 | 1,5 | | 1 | | 2,5 | 1,5 | |
| Herpobdella octoculata | | 1,5 | 2,5 | | 5 | | 7,5 | 12,5 | |
| Baetis rhodani | 2,5 | 1,0 | 0,5 | | 5 | 12,5 | 5,0 | 2,5 | |
| Epeorus sylvicola | 3,5 | 0,5 | | | 3 | 10,5 | 1,5 | | |
| Dinocras cephalotes | 4,0 | | | | 1 | 4,0 | | | |
| Chloroperla spec. | 4,0 | | | | 1 | 4,0 | | | |
| Isoperla spec. | 2,0 | 2,0 | | | 1 | 2,0 | 2,0 | | |
| Nemoura avicularis | 3,0 | 1,0 | | | 5 | 15,0 | 5,0 | | |
| Nemurella picteti | 4,0 | | | | 3 | 12,0 | | | |
| Sialis lutaria | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 3 | 1,5 | 6,0 | 4,5 | |
| Hydropsyche pellucidula | 1,0 | 2,5 | 0,5 | | 7 | 7,0 | 17,5 | 3,5 | |
| Polycentropus flavomaculatus | 1,5 | 2,0 | 0,5 | | 5 | 4,5 | 6,0 | 2,5 | |
| Anabolia nervosa | 1,0 | 2,0 | 1,0 | | 2 | 2,0 | 4,0 | 2,0 | |
| Limnophilus rhombicus | 2,0 | 2,0 | | | 3 | 6,0 | 6,0 | | |
| Chironimus spec. | | 0,5 | 2,5 | 1,0 | 7 | | 3,5 | 17,5 | 7,0 |
| Tipula lateralis | 1,0 | 3,0 | | | 1 | 1,0 | 3,0 | | |
| Radix balthica | 1,5 | 2,0 | 0,5 | | 2 | 3,0 | 4,0 | 1,0 | |
| Indikatoreinheiten (%): | | | | | | 29,2 | 39,8 | 29,4 | 1,5 |
| Biologisch wirksame organische Belastung (%): | | | | | | | 30,9 | | |
| Saprobienindex (o x 1)+(ß x 2)+(a x 3)+(p x 4) / 100 | | | | | | | 2,0 | | |

Tabelle Anhang Nr. VI: Berechnungen zum Saprobienindex am Untersuchungspunkt "Biesenberg". Kombiniert nach Untersuchungen von 1974 und Angaben von NUSCH (schriftl. Mitteilung).

| Organismen | saprobielle Valenz | | | | Häufigkeit | Klassifizierung | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | o | ß | a | p | | o | ß | a | p |
| Melosira varians | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Achnantes lanceolata | 2,5 | 1,5 | | | 7 | 17,5 | 10,5 | | |
| Cymbella ventricosa | 0,5 | 1,5 | 2,0 | | 3 | 1,5 | 4,5 | 6,0 | |
| Synedra ulna | 1,0 | 2,0 | 1,0 | | 3 | 3,0 | 6,0 | 3,0 | |
| Stigeoclonium tenue | | 1,5 | 2,5 | | 6 | | 9,0 | 15,0 | |
| Closterium acerosum | | 1,0 | 3,0 | | 2 | | 2,0 | 6,0 | |
| Anthophysa vegetans | | 1,0 | 3,0 | | 6 | | 6,0 | 18,0 | |
| Carchesium polypinum | | 1,0 | 3,0 | | 3 | | 3,0 | 9,0 | |
| Campanella umbellaria | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Vorticella campanula | 0,5 | 2,0 | 0,5 | | 5 | 2,5 | 10,0 | 7,5 | |
| Vorticella convallaria | 0,5 | 2,0 | 0,5 | | 5 | 2,5 | 10,0 | 7,5 | |
| Vorticella octava | | 1,5 | 2,5 | | 5 | | 7,5 | 12,5 | |
| Ophrydium crassicaule | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Platycola truncata | 1,0 | 1,5 | 1,5 | | 6 | 6,0 | 9,0 | 9,0 | |
| Thuricola folliculata | 1,0 | 2,0 | 1,0 | | 5 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | |
| Stylonychia mytilus | | 2,0 | 2,0 | | 5 | | 10,0 | 10,0 | |
| Litonotus lamella | | 2,5 | 1,5 | | 3 | | 7,5 | 4,5 | |
| Chilodonella cucullulus | | 1,0 | 3,0 | | 3 | | 3,0 | 9,0 | |
| Aspidisca lynceus | | 3,0 | 1,0 | | 3 | | 9,0 | 3,0 | |
| Tachysoma pellionella | | 0,5 | 1,5 | 2,0 | 5 | | 2,5 | 7,5 | 10,0 |
| Aelosoma spec. | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Colurella vicuspidata | 3,0 | 1,0 | | | 3 | 9,0 | 3,0 | | |
| Cephalodella gibba | 2,5 | 1,5 | | | 3 | 7,5 | 4,5 | | |
| Herpobdella octoculata | | 1,5 | 2,5 | | 5 | | 7,5 | 12,5 | |
| Sialis lutaria | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 3 | 1,5 | 6,0 | 4,5 | |
| Chironimus spec. | | 0,5 | 2,5 | 1,0 | 7 | | 3,5 | 17,5 | 7,0 |
| Indikatoreinheiten (%): | | | | | | 13,3 | 39,2 | 43,5 | 3,9 |
| Biologisch wirksame organische Belastung (%) | | | | | | | | 47,4 | |
| Saprobienindex (o x 1)+(ß x 2)+(a x 3)+(p x 4) / 100 | | | | | | | | 2,4 | |

Tabelle Anhang Nr. VII: Berechnungen zum Saprobienindex am Untersuchungspunkt "Einlauf", nach Untersuchungen im Jahr 1974

| Organismen | saprobielle Valenz | | | | Häufigkeit | Klassifizierung | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | o | ß | a | p | | o | ß | a | p |
| Melosira varians | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Achnantes lanceolata | 2,5 | 1,5 | | | 5 | 12,5 | 7,5 | | |
| Cymbella ventricosa | 0,5 | 1,5 | 2,0 | | 5 | 2,5 | 7,5 | 10,0 | |
| Surirella ovata | 0,5 | 1,5 | 2,0 | | 2 | 1,0 | 3,0 | 4,0 | |
| Stigeoclonium tenue | | 1,5 | 2,5 | | 6 | | 9,0 | 15,0 | |
| Synedra ulna | 1,0 | 3,0 | | | 5 | 5,0 | 15,0 | | |
| Ranunculus fluitans | 1,5 | 2,5 | | | 2 | 3,0 | 5,0 | | |
| Fontinalis antipyretica | 2,0 | 1,5 | 0,5 | | 3 | 6,0 | 4,5 | 1,5 | |
| Aspidisca costata | | 3,0 | 1,0 | | 5 | | 15,0 | 5,0 | |
| Carchesium polypinum | | 0,5 | 3,5 | | 5 | | 2,5 | 17,5 | |
| Platycola truncata | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 2 | 1,0 | 5,0 | 2,0 | |
| Vorticella convallaria | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 3 | 1,5 | 6,0 | 4,5 | |
| Chilodonella cucullulus | | 1,5 | 2,5 | | 3 | | 4,5 | 7,5 | |
| Trachelius ovum | | 0,5 | 3,5 | | 3 | | 1,5 | 10,5 | |
| Chaetogaster spec. | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Herpobdella octoculata | | 1,5 | 2,5 | | 6 | | 9,0 | 15,0 | |
| Baetis rhodani | 2,5 | 1,0 | 0,5 | | 5 | 12,5 | 5,0 | 2,5 | |
| Nemoura avicularis | 3,0 | 1,0 | | | 1 | 3,0 | 1,0 | | |
| Hydropsyche pelluciula | 1,0 | 2,5 | 0,5 | | 5 | 5,0 | 12,5 | 2,5 | |
| Polycentropus flavomaculatus | 1,5 | 2,0 | 0,5 | | 5 | 7,5 | 10,0 | 2,5 | |
| Limnophilus rhombicus | 2,0 | 2,0 | | | 1 | 2,0 | 2,0 | | |
| Chironimus spec. | | 0,5 | 2,5 | 1,0 | 7 | | 3,5 | 17,5 | 7,0 |
| Tipula lateralis | 1,0 | 3,0 | | | 1 | 1,0 | 3,0 | | |
| Indikatoreinheiten (%): | | | | | | 19,3 | 42,7 | 35,9 | 2,0 |
| Biologisch wirksame organische Belastung (%): | | | | | | | | 37,9 | |
| Saprobienindex (o x 1)+(ß x 2)+(a x 3)+(p x 4) /100 | | | | | | | | 2,2 | |

Tabelle Anhang Nr. VIII: Berechnungen zum Saprobienindex am Untersuchungspunkt "Auslauf". Kombiniert nach Untersuchungen von 1974 und Angaben von NUSCH (schrif.Mitteil.).

| Organismen | saprobielle Valenz | | | | Häufigkeit | Klassifizierung | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | o | ß | a | p | | o | ß | a | p |
| Melosira varians | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 3 | 1,5 | 7,5 | 3,0 | |
| Achnantes lanceolata | 2,5 | 1,5 | | | 6 | 15,0 | 9,0 | | |
| Cymbella ventricosa | 0,5 | 1,5 | 2,0 | | 3 | 1,5 | 4,5 | 6,0 | |
| Synedra ulna | 1,0 | 2,0 | 1,0 | | 5 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | |
| Stigeoclonium tenue | | 1,5 | 2,5 | | 5 | | 7,5 | 12,5 | |
| Closterium acerosum | | 1,0 | 3,0 | | 2 | | 2,0 | 6,0 | |
| Anthophysa vegetans | | 1,0 | 3,0 | | 6 | | 6,0 | 18,0 | |
| Carchesium polypinum | | 1,0 | 3,0 | | 5 | | 5,0 | 15,0 | |
| Campanella umbellaria | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Vorticella campanula | 0,5 | 2,5 | 1,0 | | 2 | 1,0 | 5,0 | 2,0 | |
| Vorticella convallaria | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 5 | 2,5 | 10,0 | 7,5 | |
| Vorticella octava | | 1,5 | 2,5 | | 5 | | 7,5 | 12,5 | |
| Vaginicola tincta | 2,0 | 2,0 | | | 3 | 6,0 | 6,0 | | |
| Ophrydium crassicaule | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Platycola truncata | 1,0 | 1,5 | 1,5 | | 6 | 6,0 | 9,0 | 9,0 | |
| Thuricola folliculata | 1,0 | 2,0 | 1,0 | | 5 | 5,0 | 10,0 | 5,0 | |
| Stylonychia mytilus | | 2,0 | 2,0 | | 5 | | 10,0 | 10,0 | |
| Litonotus lamella | | 2,5 | 1,5 | | 3 | | 7,5 | 4,5 | |
| Chilodonella cucullulus | | 1,0 | 3,0 | | 3 | | 3,0 | 9,0 | |
| Aspidisca lynceus | | 3,0 | 1,0 | | 5 | | 15,0 | 5,0 | |
| Tachysoma pellionella | | 0,5 | 1,5 | 2,0 | 5 | | 2,5 | 7,5 | 10,0 |
| Aelosoma spec. | | 2,0 | 2,0 | | 3 | | 6,0 | 6,0 | |
| Colurella viscuspidata | 3,0 | 1,0 | | | 3 | 9,0 | 3,0 | | |
| Cephalodella gibba | 2,5 | 1,5 | | | 2 | 5,0 | 3,0 | | |
| Herpobdella octoculata | | 1,5 | 2,5 | | 6 | | 9,0 | 15,0 | |
| Haemopis sanguisuga | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 3 | 1,5 | 6,0 | 4,5 | |
| Sialis lutaria | 0,5 | 2,0 | 1,5 | | 3 | 1,5 | 6,0 | 4,5 | |
| Chironimus spec. | | 0,5 | 2,5 | 1,0 | 7 | | 3,5 | 17,5 | 7,0 |
| Indikatoreinheiten (%) | | | | | | 13,1 | 40,3 | 42,8 | 3,7 |
| Biologisch wirksame organische Belastung (%) | | | | | | | 46,5 | | |
| Saprobienindex (o x 1)+(ß x 2)+(a x 3)+(p x 4) /100 | | | | | | | 2,4 | | |

**Tabelle Anhang Nr. IX:** Berechnungen zum Saprobienindex am Untersuchungspunkt "Münzwerkstatt", nach Untersuchungen im Jahr 1974

| | Uhrzeit | °C | $O_2$ | pH | mS | $KMnO_4$ | $NO_2$ | $NO_3$ | $NH_4$ | $PO_4$ | Cu | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| "Bauer" | 14.00 | 15,8 | 9,5 | 7,7 | 0,31 | 22,1 | 0,26 | 8,6 | 0,24 | 0,92 | 0,02 | 0,03 | 0,01 |
| | 16.00 | 15,2 | 8,6 | | | | | | | | | | |
| | 18.00 | 15,3 | 8,7 | 7,7 | 0,30 | 23,4 | 0,28 | 7,0 | 0,24 | 0,94 | 0,01 | 0,02 | 0,09 |
| | 20.00 | 14,6 | 8,3 | | | | | | | | | | |
| | 22.00 | 14,6 | 9,0 | 7,6 | 0,30 | 23,1 | 0,22 | 8,3 | 0,18 | 1,05 | 0,01 | 0,02 | 0,12 |
| | 24.00 | 14,6 | 8,2 | | | | | | | | | | |
| | 2.00 | 14,6 | 7,9 | 7,6 | 0,31 | 25,3 | 0,22 | 7,0 | 0,19 | 0,94 | 0,04 | 0,02 | 0,12 |
| | 4.00 | 14,6 | 8,1 | | | | | | | | | | |
| | 6.00 | 14,6 | 8,0 | 7,7 | 0,31 | 25,6 | 0,22 | 8,0 | 0,17 | 0,86 | 0,01 | 0,02 | 0,09 |
| | 8.00 | 14,6 | 7,9 | 7,6 | 0,30 | 31,8 | 0,28 | 6,4 | 0,17 | 0,86 | 0,02 | 0,03 | 0,10 |
| "Behndamm" | 14.00 | 19,8 | 9,8 | 8,1 | 0,31 | 22,1 | 0,26 | 10,0 | 0,31 | 0,94 | 0,01 | 0,04 | 0,10 |
| | 16.00 | 18,6 | 8,5 | | | | | | | | | | |
| | 18.00 | 18,6 | 8,3 | 8,0 | 0,30 | 21,2 | 0,28 | 8,3 | 0,26 | 0,99 | 0,04 | 0,03 | 0,10 |
| | 20.00 | 14,6 | 8,4 | | | | | | | | | | |
| | 22.00 | 14,6 | 9,1 | 7,8 | 0,31 | 24,9 | 0,24 | 8,3 | 0,24 | 1,02 | 0,01 | 0,02 | 0,11 |
| | 24.00 | 14,6 | 9,2 | | | | | | | | | | |
| | 2.00 | 14,6 | 8,1 | 7,7 | 0,31 | 25,9 | 0,26 | 9,0 | 0,25 | 0,94 | 0,01 | 0,03 | 0,10 |
| | 4.00 | 14,6 | 8,1 | | | | | | | | | | |
| | 6.00 | 14,6 | 8,0 | 7,6 | 0,30 | 26,5 | 0,22 | 6,7 | 0,24 | 0,99 | 0,01 | 0,03 | 0,10 |
| | 8.00 | 19,5 | 7,8 | 7,7 | 0,30 | 25,6 | 0,26 | 7,3 | 0,24 | 1,08 | 0,01 | 0,02 | 0,08 |



Tabelle Anhang Nr. X: Chemische Untersuchung des Lennewassers während der Driftuntersuchung am 28./29. August 1975 an den Punkten "Bauer" und "Behndamm". Alle Angaben (ausser Temperatur, pH und Leitfähigkeit) in mg/l.

| | Uhrzeit | °C | $O_2$ | ph | mS | $KMnO_4$ | $NO_2$ | $NO_3$ | $NH_4$ | $PO_4$ | Cu | Ni | Zn |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| "Bauer" | 6.00 | 12,0 | 9,8 | 7,5 | 0,30 | 11,7 | 0,21 | 12 | 0,29 | 0,61 | 0,02 | 0,02 | 0,17 |
| | 8.00 | 12,0 | 9,6 | 7,5 | 0,30 | 11,7 | 0,21 | 13 | 0,33 | 0,70 | 0,02 | 0,02 | 0,18 |
| | 10.00 | 12,2 | 9,9 | 7,5 | 0,31 | 11,7 | 0,21 | 13 | 0,32 | 0,86 | 0,02 | 0,03 | 0,19 |
| | 12.00 | 12,3 | 9,5 | 7,5 | 0,31 | 11,7 | 0,22 | 11 | 0,37 | 0,82 | 0,03 | 0,03 | 0,18 |
| | 14.00 | 15,3 | 9,1 | 7,5 | 0,30 | 12,0 | 0,22 | 13 | 0,35 | 0,77 | 0,02 | 0,03 | 0,17 |
| | 16.00 | 12,1 | 9,1 | 7,6 | 0,30 | 12,0 | 0,22 | 13 | 0,35 | 0,76 | 0,03 | 0,02 | 0,17 |
| | 18.00 | 12,1 | 9,4 | 7,6 | 0,29 | 11,7 | 0,22 | 12 | 0,32 | 0,72 | 0,02 | 0,03 | 0,17 |
| "Bahndamm" | 6.00 | 12,3 | 9,8 | 7,5 | 0,29 | 11,7 | 0,22 | 12 | 0,33 | 0,61 | 0,03 | 0,02 | 0,16 |
| | 8.00 | 15,7 | 9,5 | 7,5 | 0,30 | 11,7 | 0,22 | 12 | 0,33 | 0,72 | 0,02 | 0,02 | 0,17 |
| | 10.00 | 16,5 | 9,1 | 7,5 | 0,31 | 12,0 | 0,22 | 14 | 0,35 | 0,82 | 0,02 | 0,03 | 0,17 |
| | 12.00 | 18,5 | 8,8 | 7,4 | 0,30 | 12,0 | 0,22 | 14 | 0,39 | 0,84 | 0,02 | 0,03 | 0,16 |
| | 14.00 | 18,7 | 8,9 | 7,5 | 0,29 | 12,0 | 0,21 | 13 | 0,34 | 0,82 | 0,01 | 0,03 | 0,16 |
| | 16.00 | 16,1 | 9,4 | 7,6 | 0,30 | 12,0 | 0,21 | 15 | 0,31 | 0,80 | 0,01 | 0,03 | 0,16 |
| | 18.00 | 17,4 | 9,4 | 7,5 | 0,30 | 11,7 | 0,21 | 15 | 0,26 | 0,75 | 0,02 | 0,03 | 0,16 |

Tabelle Anhang Nr. XI: Chemische Untersuchung des Lennewasser während der Driftuntersuchung am 3.10 1975 an den Punkten "Bauer" und "Bahndamm". Alle Angaben (ausser Temperatur, pH und Leitfähigkeit) in mg/l.

## Lebenslauf

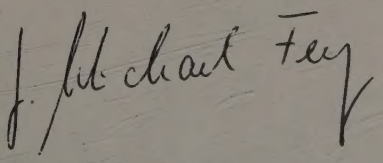
| | |
|---|---|
| 20.5. 1950 | Geboren in Lüdenscheid als Sohn des Bautechnikers Ernst-August F e y und seiner Ehefrau Anneliese, geb. Isenburg. |
| April 1956 - März 1961 | Besuch der Grundschule Oberrahmede. |
| April 1961 - Mai 1969 | Besuch des Zeppelin-Gymnasiums in Lüdenscheid. |
| 30.5. 1969 | Reifeprüfung |
| 1.10. 1969 | Beginn des Studiums der Biologie an der Ruhr-Universität Bochum, mit Schwerpunkt auf Spezielle Zoologie, Meeresökologie und Limnologie. |
| 18.5. 1973 | Allgemeine Prüfung in Philosophie und Pädagogik. |
| 14.1. 1974 | Erste Philologische Staatsprüfung. |
| April 1974 | Heirat mit Susanne Cramer. Geburt des 1. Kindes im Mai 1976. |
| Januar 1974 - August 1976 | Durchführung der Dissertationsarbeit. |
| Seit dem 1.9. 1976 | Studienreferendar am Bezirksseminar Hagen. |

## Veröffentlichungen


1972: Untersuchungen von Raubwürgergewöllen; Anthus, 9, 61-62.

1972: Über das Vorkommen der Gespinstmotten (Hyponomeuta padellus L. Insecta) in Ödenthal; Märker, 21, 11-12.

1975: Köcherfliegenlarven als Beobachtungsobjekte; Praxis der Naturwissenschaften - Biologie, 24, 11, 293-296.

1975: Methode zur Analyse des Netzbauverhaltens von Hydropsyche pellucidula CURT. (Trichoptera); Naturwissenschaften, 62, 12, 582.

i.Dr.: Zur Ephemeriden-, Plecopteren- und Trichopterenfauna des Sauerlandes; Decheniana, 130, (zusammen mit E. Mertschenk).